

(19)



(11)

EP 2 310 577 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.11.2012 Patentblatt 2012/45

(51) Int Cl.:
E02D 31/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09780849.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/059322

(22) Anmeldetag: **20.07.2009**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/010072 (28.01.2010 Gazette 2010/04)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DICHTHEITSPRÜFUNG VON BAUWERKSABDICHTUNGEN**

METHOD AND DEVICE FOR CHECKING THE SEAL OF STRUCTURAL SEALS

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR ESSAIS D'ÉTANCHÉITÉ SUR ÉTANCHEMENTS D'OUVRAGES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **19.07.2008 DE 102008033947**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.04.2011 Patentblatt 2011/16

(73) Patentinhaber: **Progeo Monitoring GmbH**
14979 Grossbeeren (DE)

(72) Erfinder:
• **RÖDEL, Andreas**
14532 Kleinmachnow (DE)

• **KOMMA, Norbert**
1140 Wien (AT)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- und Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 525 278 EP-A- 1 659 224
US-A- 6 004 070 US-B1- 6 648 552

EP 2 310 577 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Dichtheitsprüfung von Bauwerksabdichtungen. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere von einer reduzierten Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an einer membranartigen, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigen Bauwerksabdichtung, die im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist und mit einer elektrisch leitfähigen Schicht versehen ist, die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung angeordnet ist, sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt und an die eine elektrische Prüfspannung angelegt wird, sowie eine membranartige Bauwerksabdichtung aus elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigem Material, die im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist, mit einer elektrischen Spannungsquelle aufweisenden Prüfvorrichtung zur Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere einer reduzierten Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an der Bauwerksabdichtung, und einer elektrisch leitfähigen Schicht, die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung angeordnet ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt.

[0002] Membranartige Abdichtungen haben bis heute einen erheblichen Anteil an den Bauwerksabdichtungen. Aufgabe der Bauwerksabdichtungen ist es, das Bauwerk gegen das Eindringen von Grundwasser, Erdfeuchte und Niederschlagswasser sicher zu schützen und so Schäden an der Bausubstanz und Einschränkungen der Bauwerksnutzung über die gesamte Bauwerkslebensdauer hinweg sicher zu vermeiden. Membranartige Abdichtungen bestehen in aller Regel aus bituminösen Massen oder aus den heute verfügbaren Massenkunststoffen und werden industriell meist als bahnenartige Produkte zunehmend aber auch als auf der Baustelle flächig aufzutragende Abdichtungsmassen hergestellt. Membranartige Bauwerksabdichtungen müssen, um ihre Funktion zu erfüllen können, wasserdicht sein.

[0003] Produktmängel, fehlerhafte Verarbeitung, unsachgemäße Beanspruchungen sowie die Einwirkung der Witterung können zu einem Verlust der Dichtheit bei membranartigen Bauwerksabdichtungen führen, wodurch weit reichende Folgeschäden am Bauwerk ausgelöst werden können, wenn die Beschädigung nicht wird, um sie dann umgehend zielgerichtet zu beseitigen. Ein Großteil der Schäden an Gebäuden hat deshalb bis heute ihre Ursache in Schäden der Bauwerksabdichtungen. Hinzu kommt, dass eine systematische Schadensbeseitigung häufig selbst dann nicht möglich ist, wenn ein Abdichtungsschaden bekanntermaßen vorliegt, da die Schadensstelle nicht lokalisiert werden kann und häufig unzugänglich eingebettet in der Baukonstruktion liegt. Abdichtungsschäden an membranartigen Bauwerksabdichtungen bergen daher ein erhebliches Schadenspo-

tenzial.

[0004] Vor diesem Hintergrund gibt es bereits seit vielen Jahren Bestrebungen, Möglichkeiten zur Dichtheitsüberwachung und Leakageortung für Bauwerksabdichtungen bereit zu stellen, mit dem Ziel, Abdichtungsschäden möglichst zeitnah erkennen und ortsgenau orten zu können. Die heute angebotenen Lösungen sind dabei durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

[0005] Systeme einfacher und herkömmlicher Art: bei diesen Systemen wird die Abdichtung so ausgebildet, dass auf der bestimmungsgemäß trockenen Seite der Abdichtung eine visuelle Kontrollmöglichkeit geschaffen wird, so dass eindringendes Leckagewasser im Zuge einer Inspektion erkannt werden kann. In Ergänzung mit elektrischen Feuchtedetektoren ist die Überwachung auch automatisierbar. Nachteil dieser Bauweise ist, dass eine Leakageortung praktisch nicht möglich ist, ebenso kann Leckagewasser nicht von auftretendem Kondenswasser unterschieden werden, so dass eine eindeutige Leakageerkennung in der Praxis nicht möglich ist. Weiterer Nachteil ist, dass eine Überprüfung der Abdichtung stets daran gebunden ist, dass die Abdichtung im Zeitpunkt der Prüfung mit Wasser beaufschlagt ist oder bereits war.

[0006] Vakuumsysteme: Bei diesen Systemen wird die Abdichtung zweilagig so ausgebildet, dass zwischen den Dichtungslagen ein evakuierbarer Zwischenraum entsteht. Wird der Kontrollraum auf einen bestimmten Unterdruck evakuiert, so kann über den zeitlichen Druckanstieg auf die Dichtheit der Abdichtung geschlossen werden. Vorteil dieses Systems ist es, dass die Dichtheit der Abdichtung auch unabhängig von der Wasserbeaufschlagung überprüft werden kann. Nachteil des Verfahrens sind die hohen Kosten für das Doppeldichtungssystem und die fehlende Möglichkeit im Falle einer Undichtheit die Schadenstelle zielgerichtet lokalisieren zu können.

[0007] Elektroresistive Systeme: Diese Systeme nutzen aus, dass membranartige Abdichtungen werkstofflich gesehen über einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand und eine hohe Durchschlagsfestigkeit verfügen. Unterschiedliche Ausgestaltungen sind verfügbar:

[0008] Bei den potentiometrischen Verfahren wird entweder das elektrische Potenzialfeld auf der nassen Außenseite der Abdichtung oder in einer elektrischen Kontaktlage auf der bestimmungsgemäß trockenen Seite unterhalb der Abdichtung ermittelt, das sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen nasser Dichtungsaußenseite oder der Kontaktlage oder, falls eine solche nicht vorhanden ist, Gebäudemasse einstellt, indem ein elektrischer Strom durch die Leckagestelle hindurch getrieben wird. Diese Verfahren sind je nach technischer Umsetzung sehr leistungsfähig und ermöglichen teilweise die vollautomatische Dichtheitsüberwachung und die präzise Ortung von Leckagestellen.

[0009] Aus der Patentschrift DE 41 25 430 C2 ist eine Abdichtungsfolie mit einer innenliegenden leitfähigen Schicht bekannt, die beidseitig mit jeweils einer elektrisch

nicht leitenden Schicht überdeckt ist. Kommt es bei dieser Abdichtung zu einer Leckage, so kann das Leckageereignis dadurch erkannt wird, dass der aus der leitfähigen Schicht gegen Erde oder das leitfähige Lagermedium abfließende Strom gemessen wird.

[0010] Nachteil dieser Verfahren ist, dass eine Leckageerkennung grundsätzlich nur möglich ist, wenn die Abdichtung mit Wasser oder feuchtem Abdeckmaterial beaufschlagt ist und sich durch eindringende Feuchtigkeit ein leitfähiger Pfad in der Leckagestelle ausgebildet hat. Erfolgt die Messung von der Dichtungsobenseite aus, so muss zur Überprüfung der Abdichtung die gesamte Abdichtungsfläche mit dem Prüfgerät manuell abgetastet werden. Dies erfordert erhebliche Zeit und führt nur bei ausreichender Fachkenntnis zu zuverlässigen Ergebnissen.

[0011] Dieser Nachteil wird bei den Hochspannungsprüfverfahren dadurch vermieden, dass mit einer beweglichen Prüfelektrode, einem sogenannten Funkenbesen, eine Hochspannung auf die frei liegende, dem Bauwerk abgewandte Seite der Abdichtung aufgebracht wird, deren Gegenpol entweder die geerdete Baukonstruktion ist, auf der die Abdichtung verlegt ist, oder eine zusätzliche leitfähige Schicht auf der dem Bauwerk zugewandten Seite unmittelbar unterhalb oder hinter der Abdichtung, wobei die Schicht entweder lose unterhalb oder hinter der Abdichtung liegt oder wie in der Patentanmeldung WO 00/01895 A1 beschrieben, fest mit der Abdichtung verbunden ist. Wird nun die Prüfelektrode über eine schadhafte Stelle der Abdichtung geführt, so ist dort die Durchschlagsfestigkeit gegenüber der intakten Abdichtungsfläche herabgesetzt, weil entweder die Materialstärke beschädigungsbedingt geringer ist, als bei intakter Abdichtung oder weil sogar nur ein Luftspalt vorhanden ist, der gegenüber dem Abdichtungswerkstoff eine deutliche geringere Durchschlagsfestigkeit aufweist. In Folge dieser Umstände wird bei Überstreichen einer Schadstelle ein Funken gezündet. Dies wird von dem Gerät detektiert und so eine Leckage sicher erkannt. Um mit nur geringeren Prüfspannungen arbeiten zu können, wird bei einigen angebotenen Systemen die Prüfung anstelle eines Funkenbesens mit einer Wassersprühvorrichtung ausgeführt, so dass die Spannung über den Wasserstrahl auf die Dichtung aufgebracht wird, dass dann auch in kapillarartige Schadstellen eindringt und so eine leitfähige Verbindung an der Schadstelle herstellt.

[0012] Nachteil der bekannten Hochspannungsprüfverfahren ist, dass zur Durchführung der Prüfung die Abdichtung vollkommen frei liegen muss und dass, bei Verwendung in Verbindung mit Wasser als Prüfmittel, es durch ablaufendes Wasser zu einer elektrischen Verbindung über den Rand der Abdichtung kommen kann, wodurch die Messergebnisse verfälscht werden. Da die Abdichtung zur Prüfung vollständig mit der Prüfelektrode abgetastet werden muss, ist das Verfahren sehr aufwändig, insbesondere wenn große oder schlecht zugängliche Abdichtungen überprüft werden müssen. Wird bei der Prüfung nicht die gesamte Fläche mit der Prüfelek-

trode abgestrichen, was nicht systematisch überwachbar ist, so besteht die Gefahr von Fehlmessungen. Die bekannten Hochspannungsprüfungen sind damit nicht geeignet, um Bauwerksabdichtungen systematisch auch während der nachlaufenden Bautätigkeiten zu prüfen, da hier häufig eine Zugänglichkeit der Abdichtung nicht mehr gegeben ist.

[0013] Insbesondere bei Tunnelabdichtungen stellen Abdichtungsschäden ein sehr großes Risiko dar, denn Abdichtungsschäden werden in aller Regel erst anhand von Wassereintritten in den fertigen Tunnel erkannt, da zunächst die Wasserhaltung eingestellt werden muss, bevor sich der hydrostatische Belastungsdruck auf die Abdichtung einstellt und die Abdichtung erstmalig mit Wasser beaufschlagt wird. Bedingt durch den Druckaufbau besteht hier ein weiteres Beschädigungsrisiko für die Abdichtung, denn mit steigendem Außendruck wird die Abdichtung mehr und mehr gegen die Betoninnenschale gedrückt. Sind Bereiche der Innenschale nicht vollständig ausbetoniert, so wird die Dichtung auf die freiliegende Bewehrung der Innenschale gedrückt und perforiert, so dass weitere Beschädigungsrisiken bestehen. Verschärft wird das Problem dabei dadurch, dass das Wasser nach aller Erfahrung nicht dort aus der Betoninnenschale heraustritt, wo sich tatsächlich auch die Leckage in der Abdichtung befindet, sondern das Wasser sucht seinen Weg hinter der Betoninnenschale, bis es an undichten Stoßfugen von Tunnelsegmenten oder durch Risse im Beton in die Tunnelröhre hinein austritt.

[0014] Da die Abdichtung nicht einsehbar hinter der Tunnelinnenschale verborgen liegt und keine oder nur diffuse Informationen über die Position der Leckage vorhanden sind, erfordert die Sanierung von Leckagen an Tunnelabdichtungen bis heute großflächige und teure Injektionsmaßnahmen, die trotz des hohen Aufwandes nicht selten ohne Erfolg bleiben, so dass zahlreiche Tunnel trotz Sanierung undicht bleiben und dauerhaft deutlich erhöhte Unterhaltungskosten erzeugen. So berichtet die Schweizer Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (EMPA) in ihrem Jahresbericht 2004 über die Ergebnisse eines gemeinsam mit dem Schweizer Bundesamt für Straßen (Astra) durchgeführten Forschungsvorhabens, bei dem insgesamt 63 Schweizer Tunnel auf die Wirksamkeit ihrer Abdichtungssysteme hin untersucht worden sind. Danach waren selbst nach der Sanierung festgestellter Undichtheiten durch injektionsmaßnahmen 13 Tunnel weiterhin als undicht einzustufen, davon allein 10 druckwasserhaltende Tunnel. Vor dem Hintergrund dieser ernüchternden Ergebnisse und eingedenk der immensen Kosten für die (nicht selten erfolglose) Sanierung und Unterhaltung undichter Tunnel schließt der Bericht mit dem eindringlichen Appell, alles zu unternehmen, Tunnelabdichtungen von Anfang an dicht herzustellen.

[0015] Dieses Ziel ist aber nur erreichbar, wenn die Qualität der Abdichtung und dabei insbesondere ihre Dichtheit baubegleitend und zeitnah zu den einzelnen Phasen der Bauwerkserrichtung prüfbar ist, Schäden an-

hand belastbarer und objektiver Messergebnisse systematisch feststellbar, festgestellte Schäden auf einfache Weise lokalisierbar sind und Mängel oder Schwachstellen der sonstigen Bauausführung, die rückgekoppelt zu Schäden an der Bauwerksabdichtung führen können, wie z.B. unvollständige Betonagen, ebenfalls systematisch erkannt und durch geeignete Maßnahmen beseitigt werden, bevor ein Abdichtungsschaden als Folgeschaden entstanden ist.

[0016] Ein Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus EP 0 525 278 A2 bekannt.

[0017] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Dichtheitsprüfung von membranartigen, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigen Bauwerksabdichtungen bereit zu stellen, das eine vollflächige Dichtheitsprüfung derartiger Abdichtungen ermöglicht, unabhängig davon, ob die Abdichtung an einer Unterlage anliegt oder unter- und/oder oberseitig frei liegt, mit einer Bewehrung überbaut ist oder unzugänglich vollständig in der Baukonstruktion eingebettet ist. Das angestrebte Verfahren soll dabei eine Dichtheitskontrolle auch dann ermöglichen, wenn die zu prüfende Abdichtung noch nicht mit feuchten Materialien überbaut oder sich in Kontakt mit Wasser befindet. Insbesondere soll das angestrebte Verfahren die örtliche Eingrenzung oder vorzugsweise Lokalisierung von vorhandenen Schadstellen in der zu prüfenden Abdichtung ermöglichen. Ebenso liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine membranartige Bauwerksabdichtung zu schaffen, die mit einer entsprechenden Prüfvorrichtung versehen ist, welche die Durchführung des angestrebten Verfahrens gestattet.

[0018] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. durch eine Bauwerksabdichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst.

[0019] Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere von einer reduzierten Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an einer membranartigen, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigen Bauwerksabdichtung, die im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist. Die Bauwerksabdichtung ist dabei mit einer (ersten) elektrisch leitfähigen Schicht versehen, die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung angeordnet ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt. Zur Feststellung besagter Schad-, Fehl- und/oder Schwachstellen wird erfindungsgemäß eine weitere elektrisch leitfähige Schicht verwendet, die durch die Bauwerksabdichtung von der besagten elektrisch leitfähigen Schicht elektrisch getrennt ist und sich ebenfalls im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt. An die beiden elektrisch leitfähigen Schichten wird eine elektrische Prüfspannung angelegt, deren Höhe so gewählt wird, dass es bei Vorhandensein (mindestens) einer elektrisch nicht leitfähigen Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle in der Bauwerksabdichtung zu einem Überschreiten der elektrischen Durch-

schlagsfestigkeit und zur Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens am Ort der Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle kommt, wobei die Prüfspannung kleiner gewählt wird als eine zerstörende Prüfspannung, bei welcher sich an einer der zu prüfenden Bauwerksabdichtung entsprechenden unbeschädigten und/oder ungeschwächten Bauwerksabdichtung ein elektrischer Durchschlag mit Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens ergeben würde.

[0020] Unter dem Ausdruck "nur geringfügig leitfähig" wird im vorliegenden Kontext eine Abdichtung bzw. ein Dichtungsmaterial mit einem elektrischen Widerstand größer 10^{10} Ohm cm verstanden.

[0021] Unter dem Ausdruck "im Wesentlichen vollflächig" ist zu verstehen, dass sich die betreffende elektrisch leitfähige Schicht zumindest über den auf Dichtheit zu prüfenden Flächenbereich der Bauwerksabdichtung bzw. Kunststoffdichtungsbahn erstreckt. Beispielsweise kann ein mit einer benachbarten Kunststoffdichtungsbahn zu verschweißender Randbereich der Kunststoffdichtungsbahn gegebenenfalls auch ohne elektrisch leitfähige Schicht ausgebildet sein. Erfindungsgemäß sind vorzugsweise mindestens 90 % der Fläche der zu prüfenden flächigen Bauwerksabdichtung bzw. Kunststoffdichtungsbahn mit den leitfähigen Schichten vollflächig bedeckt.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren kommt ohne die Nachteile der eingangs beschriebenen Prüfverfahren des Standes der Technik aus. Es ermöglicht eine vollflächige Dichtheitsprüfung von membranartigen, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitenden Bauwerksabdichtungen, ohne dass die betreffende Abdichtung frei liegen muss und ohne dass sich die Abdichtung in dem zu prüfenden Bereich unter Einwirkung von Feuchtigkeit oder Wasser befinden muss. Gleichwohl ist die Prüfbarkeit der Abdichtung bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch bei diesen Randbedingungen möglich.

[0023] Weiterhin ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren auch die örtliche Eingrenzung von vorhandenen Schadstellen in der zu prüfenden Abdichtung. Durch Kombination mit fest installierten potentiometrischen Verfahren kann dann weiterhin auch eine Überwachung der Abdichtung beim fertigen, wasserbeaufschlagten Tunnelbauwerk erfolgen.

[0024] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die an die elektrisch leitfähigen Schichten angelegte Prüfspannung so gewählt, dass sie höchstens 80% eines elektrischen Spannungswertes beträgt, bei welchem sich an einer der zu prüfenden Bauwerksabdichtung entsprechenden unbeschädigten und/oder ungeschwächten Bauwerksabdichtung ein elektrischer Durchschlag mit Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens ergeben würde. Auf diese Weise werden durch Materialabtrag bzw. Schichtdickenverringerung verursachte Schwachstellen der zu prüfenden Abdichtung zuverlässig detektiert, andererseits wird sichergestellt, dass intakte Flächenbereiche der Abdichtung, welche eine geforderte Solldicke

aufweisen, durch die elektrische Spannungsbeaufschlagung nicht zerstört werden.

[0025] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird nicht mit einer festen Prüfspannung gearbeitet, sondern die Prüfspannung wird stetig oder schrittweise erhöht und/oder es wird in mehreren Prüfintervalen geprüft, wobei die Prüfspannung in dem jeweils nachfolgenden Prüfintervall erhöht wird, bis die der intakten Abdichtung entsprechende Mindestprüfspannung erreicht wird. Anhand der jeweilig tatsächlich erreichten Durchschlagspannungen können dann unterschiedliche Schadensbilder (z.B. Materialdickenreduzierung oder durchgehende Leckagen) unterschieden werden. Weiterhin kann es vorteilhaft sein, die Prüfspannung für eine gewisse Zeitdauer aufrecht zu erhalten, da insbesondere bei sehr kleinen Beschädigungen es mitunter ein gewisse Zeit dauern kann, bis sich an einer Schadstelle unter Einwirkung der Prüfspannung und des daraus resultierenden elektrischen Feldes ein Zündkanal ausbildet über den sich dann erst eine Funkenentladung entstehen kann.

[0026] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird die zu prüfende Abdichtung vorzugsweise in einzelne Prüfabschnitte unterteilt, wobei die Unterteilung dadurch erzielt werden kann, dass entweder eine der leitfähigen Schichten oder auch beide leitfähigen Schichten so segmentiert werden, dass eine abschnittsweise Spannungsbeaufschlagung einzelner Prüfabschnitte der zu kontrollierenden Abdichtung ermöglicht wird, dies günstiger Weise so, dass jeweils ein Dichtungsbahnensegment auch ein Prüfsegment bildet.

[0027] Um eine einfache und baustellengerechte Applikation des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens zu ermöglichen, werden in einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens die zur flächigen Prüfung erforderlichen leitfähigen Schichten und die zu prüfende Abdichtung als vorgefertigtes mehrschichtiges Sandwichsystem aus leitfähigen Schichten und mindestens einer elektrisch isolierenden Dichtungsschicht ausgebildet, wobei die leitfähigen Schichten in geeigneter Weise, z.B. durch Kleben, Laminieren, Kaschieren, Koextrudieren, Aufdampfen oder Beschichten oder Kombinationen dieser Verfahren mit der Abdichtung partiell oder vollflächig verbunden sind. Die leitfähigen Schichten weisen dabei vorzugsweise einen Oberflächenwiderstand von weniger als 10^6 Ohm auf und einen spezifischen Widerstand von weniger als 10^5 Ohm cm auf.

[0028] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die Prüfspannung über mindestens zwei räumlich voneinander beabstandete Einspeisestellen an eine der elektrisch leitfähigen Schichten angelegt wird, dass die Stromflüsse oder damit korrespondierende elektrische Größen, insbesondere die elektrische Spannung, bei einem elektrischen Durchschlag an einer Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle gemessen werden, und dass anhand des Verhältnisses der Stromflüsse oder korrespondierenden elektrischen Größen, insbesondere Spannungen, der

Ort der Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle ermittelt wird. Auf diese Weise lässt sich der Ort einer Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle der Abdichtung relativ genau ermitteln, auch wenn die zu prüfende Abdichtung nicht oder nur teilweise zugänglich ist.

[0029] Die Messung des elektrischen Spannungsverhältnisses erfolgt dabei vorzugsweise über eine oder mehrere Messsonden, die ohne galvanische Verbindung indirekt mit einer der leitfähigen Schichten kapazitiv gekoppelt werden. Hierdurch ist eine einfache und flexible Ankoppelung der Messsonden möglich. Die Messsonden können so auf einfache Weise umgesetzt werden, so dass der Ort einer Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle der Abdichtung gegebenenfalls schneller ermittelt bzw. eingrenzt werden kann. Die Messung des elektrischen Spannungsverhältnisses kann jedoch auch über Messsonden erfolgen, die unmittelbar mit einer der leitfähigen Schichten gekoppelt sind.

[0030] Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass eine elektrisch leitfähige Auflagerschicht der Bauwerksabdichtung, beispielsweise ein feuchter Untergrund, insbesondere eine noch relativ feuchte oder abgebundene Betonschicht, als eine der elektrisch leitfähigen Schichten genutzt wird. In diesem Fall wird auf die Herstellung einer zweiten bzw. zusätzlichen elektrisch leitfähigen Schicht verzichtet und statt dessen eine ohnehin vorhandene elektrisch leitfähige Auflagerschicht genutzt, was eine entsprechende Kosteneinsparung ermöglicht. Beispielsweise kann bei einem Flachdach die relativ glatte Betondecke als elektrisch leitfähige Auflagerschicht genutzt werden.

[0031] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die auf der zugänglichen Seite der Bauwerksabdichtung angeordnete elektrisch leitfähige Schicht mit einer elektrisch nicht leitenden Schicht, vorzugsweise einer hellfarbigen, elektrisch isolierenden Kunststoffolie versehen wird. Diese elektrisch nicht leitende Schicht schützt vor Stromschlägen. Eine hellfarbige Ausführung dieser Schicht wirkt sich günstig auf die Sichtbedingungen von Personen bei Arbeiten innerhalb bzw. im Bereich der Bauwerksabdichtung aus und dient weiterhin der visuellen Erkennung von mechanischen Beschädigungen.

[0032] Hinsichtlich einer möglichst einfachen und schnellen Applikation einer gattungsgemäßen Bauwerksabdichtung ist es vorteilhaft, wenn die Bauwerksabdichtung zusammen mit den elektrisch leitenden Schichten sowie der elektrisch isolierenden Schicht (Kunststoffolie) als sandwichartige Verbundfolie oder Verbunddichtungsbahn beispielsweise durch Koextrusion oder Kaschieren industriell vorgefertigt wird. Insbesondere bei Koextrusion der verschiedenen Schichten kann es mitunter zu Fehlstellen in der zwischengeordneten oder eingebetteten elektrisch leitfähigen Schicht kommen, die eine zuverlässige Feststellung von Schad- und/oder Fehlstellen an der später zu prüfenden Bauwerksabdichtung ausschließen können. Um eventuelle

Fehlstellen in der gegebenenfalls nicht sichtbaren elektrisch leitfähigen Schicht zu ermitteln, sieht eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass die vollflächige Ausbildung der zumindest auf der zugänglichen Seite der Bauwerksabdichtung angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht und/oder die vollflächige Ausbildung der auf der Rückseite der Bauwerksabdichtung angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht mittels elektrischer Kapazitätsmessung geprüft wird.

[0033] Die erfindungsgemäße membranartige Bauwerksabdichtung besteht aus elektrisch nicht leitfähigem Material, so dass sie im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist. Sie ist mit einer elektrischen Spannungsquelle aufweisenden Prüfvorrichtung zur Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere eine reduzierte Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an der Bauwerksabdichtung versehen. Des Weiteren ist die erfindungsgemäße Bauwerksabdichtung mit einer (ersten) elektrisch leitfähigen Schicht ausgestattet, die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung angeordnet ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt. Erfindungsgemäß ist die Bauwerksabdichtung mit einer weiteren elektrisch leitfähigen Schicht ausgestattet, die durch die Bauwerksabdichtung von der besagten (ersten) elektrisch leitfähigen Schicht elektrisch getrennt ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt. Die Prüfvorrichtung weist dabei Mittel zur Einstellung der Höhe der über die elektrisch leitfähigen Schichten an der Bauwerksabdichtung anlegbaren Prüfspannung auf, so dass die Prüfspannung von Null oder einem Minimalwert größer Null stetig oder schrittweise bis zu einem elektrischen Spannungswert erhöhbar ist, der um einen Sicherheitsbetrag reduziert unterhalb einer zerstörenden Spannung liegt, bei welcher sich an einer der zu prüfenden Bauwerksabdichtung entsprechenden unbeschädigten und/oder ungeschwächten Bauwerksabdichtung ein elektrischer Durchschlag mit Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens ergeben würde, und um einen Sicherheitsbetrag höher ist, als die der Durchschlagsfestigkeit einer der Bauwerksabdichtungsstärke entsprechenden Luftstrecke ist.

[0034] Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung sind in den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung angegeben. Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer mehrere Ausführungsbeispiele darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt eines Tunnels mit einer erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung; und

Figuren 2 bis 6 jeweils einen Abschnitt von verschiedenen erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtungen in vergrößerter Querschnittansicht.

[0035] Das Gewölbe des in Fig. 1 dargestellten Tunnels wurde unmittelbar nach Fertigstellen des Gebirgsausbruchs 1 mit Spritzbeton 2 und Stahleinlagen bedeckt. Der Vortrieb eines solchen Tunnels erfolgt üblicherweise diskontinuierlich in axialen Teilabschnitten. Der armierte Spritzbeton 2 bildet ein Außengewölbe, dessen Innenfläche mit einer Bauwerksabdichtung 3 bedeckt wird. Die Bauwerksabdichtung 3 soll ein Eindringen von Wasser bzw. Feuchtigkeit aus dem Gebirge im Bereich des Außengewölbes 2 verhindern. Auf die Bauwerksabdichtung 3 folgt innenseitig ein Innengewölbe 4 aus Beton, das nachfolgend als Innenschale bezeichnet wird. Bevor das Innengewölbe bzw. die Innenschale 4 betoniert wird, wird die Bauwerksabdichtung 3 auf Dichtigkeit geprüft. Hierzu ist die Bauwerksabdichtung 3 mit einer Prüfvorrichtung 5 zur Feststellung eventuell vorhandener Schad- oder Fehlstellen versehen.

[0036] Die zu prüfende Bauwerksabdichtung 3 ist eine Abdichtung mit einem werkstoffbedingt hohen Isolationswiderstand und einer im Vergleich zu Luft hohen elektrischen Durchschlagsfestigkeit. Über zwei elektrisch leitfähige Schichten 6, 7, die erfindungsgemäß entweder auf den beiden Außenseiten der zu prüfenden Abdichtung 3 anliegend angeordnet sind oder bei der eine leitfähige Schicht 6 oder 7 auf einer Außenseite der Abdichtung 3 anliegend angeordnet ist und sich eine leitfähige Schicht 7 oder 6 innerhalb der zu prüfenden Abdichtung 3 befindet oder bei der sich beide leitfähigen Schichten 6, 7 innerhalb der zu prüfenden Abdichtung 3 befinden, so dass die leitfähigen Schichten 6, 7 konstruktiv immer durch eine Schicht aus nicht leitendem Dichtungsmaterial, nämlich der zu prüfenden Abdichtung 3 bzw. Dichtungsbahn elektrisch voneinander getrennt werden, wird unter Verwendung einer geeigneten Spannungsquelle 8 eine erdpotenzial gebundene oder erdpotenzialfreie Prüfspannung auf die zu prüfende Abdichtungsfläche aufgebracht, so dass an jeder Stelle zwischen den leitfähigen Schichten 6, 7 ein elektrisches Feld senkrecht zu der zu prüfenden flächigen Abdichtung (Dichtungsbahn) 3 entsteht. Dabei kann es sich je nach verwendeter Spannungsquelle 8 um ein elektrisches Gleich- und/oder Wechselfeld handeln. Um die flächige Abdichtung 3 auf Beschädigungen zu überprüfen, wird nun erfindungsgemäß die Prüfspannung zwischen den mit Spannung beaufschlagten leitfähigen Schichten 6, 7 so gewählt, dass bei intakter Abdichtungsbahn 3 die Durchschlagsfestigkeit an keiner Stelle der Abdichtung 3 überschritten wird, wohl aber an den Stellen, an denen die Materialstärke der spannungsbeaufschlagten Abdichtungsbahn 3 beschädigungsbedingt gegenüber dem unbeschädigten Zustand herabgesetzt ist und/oder dort, wo beschädigungsbedingt oder auch fertigungsbedingt Fehlstellen in der Abdichtung 3 vorhanden sind, wozu günstiger Weise eine Prüfspannung von mindestens 1000 Volt pro Millimeter Dicke der zu prüfenden flächigen Abdichtung bzw. Dichtungsbahn 3 verwendet wird, mit der Folge, dass es an diesen Stellen zu einem Spannungsdurchschlag kommt, was erfindungsgemäß auf unterschiedliche Wei-

se detektiert und lokalisiert werden kann. Auf diese Weise ist eine vollflächige integrale Dichtheitsprüfung der Bauwerksabdichtung 3 bzw. jeweiligen Abdichtungsbahn und eine Feststellung von Beschädigungen der Abdichtung 3 möglich, ohne dass Wasser oder Feuchtigkeit oder ein direkter Kurzschluss an der Beschädigungsstelle vorhanden sein muss, gleichwohl eine sichere Erkennung von Schäden an der Abdichtung 3 auch unter diesen Bedingungen mit dem Verfahren möglich ist. Damit wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein gegenüber dem Stand der Technik deutlich verbesserter Entwicklungsstand erreicht, der es erlaubt, eine zuverlässige Gutprüfung von Abdichtungen 3 durchzuführen und Abdichtungsschäden auf einfache und zuverlässige Weise festzustellen und zu lokalisieren, dies unabhängig von der Einbausituation der Abdichtung 3, im Extremfall sogar bei frei hängender Abdichtung 3 und ohne dass Wasser oder Feuchtigkeit für die Anwendbarkeit des Prüfverfahrens erforderlich ist.

[0037] Erfindungsgemäß kann zur Durchführung des Verfahrens während des Prüfvorgangs die Höhe der über die leitfähigen Schichten 6, 7 an die zu prüfende Flächenabdichtung 3 angelegten Spannung und auch der Stromfluss von der Spannungsquelle 8 in die Prüfanordnung gemessen werden. Sind Schad- und/oder Fehlstellen in der Flächenabdichtung 3 vorhanden, so kommt es erfindungsgemäß an diesen Schad- und/oder Fehlstellen, soweit hier nicht beschädigungsbedingt ein direkter Kurzschluss zwischen den leitfähigen Schichten 6, 7 vorliegt, zu einer Überschreitung der Durchschlagsfestigkeit und damit durch die zu prüfende Flächenabdichtung 3 hindurch zu einem elektrischen Durchschlag mit der Folge, dass über den Lichtbogen ein schlagartig einsetzender Entladestrom zwischen den beiden leitfähigen Schichten 6, 7 fließt. Dies führt dazu, dass die Prüfspannung an der zu prüfenden Abdichtung 3 abfällt und der Ladestrom steigt, was erfindungsgemäß anhand des gemessenen Verlaufs der Messgrößen Prüfspannung und Ladestrom erkannt werden kann. Sind Beschädigungen vorhanden, die einen im Vergleich zum Widerstand des intakten Dichtungsmaterials niederohmigen Kurzschluss der leitfähigen Schichten 6, 7 bedingen, wird dies daran erkannt, dass ein im Vergleich zur unbeschädigten Abdichtung deutlich höherer Kurzschlussstrom schon bei einer niedrigen Prüfspannung fließt, die für eine Funkenentladung noch nicht ausreichend ist. Damit ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch ein kurzschlussbedingendes Schadensbild sicher feststellbar. Wird hingegen eine vorgegebene Prüfspannung erreicht, ohne dass es zu einem Kurzschlussstrom oder Lichtbogenentladestrom kommt, ist die Abdichtung 3 als intakt einzustufen, dies insbesondere, wenn die maximale Prüfspannung zuvor ohne weitere Entladungseffekte für einen längeren Zeitraum angelegen hat. Vorzugsweise wird aus dem Quotienten von Spannung und Strom der elektrische Widerstand des Prüfobjektes ermittelt und als weiteres Qualitätskriterium herangezogen.

[0038] Erfindungsgemäß kann dabei auch eine örtli-

che Zuordnung der Stelle des Zündfunken oder eines Kurzschlusses und damit der örtlichen Lage der Schadstelle vorgenommen werden, wenn die Einspeisung der Prüfspannung über mindestens zwei räumlich voneinander ausreichend beabstandete Einspeisestellen 9, 10 erfolgt (vgl. Fig. 1), die bei länglich ausgebildeten Prüfab schnitten vorzugsweise an den beiden sich gegenüber liegenden Schmalseiten des Prüfab schnitts liegen, und die Stromflüsse bzw. korrespondierende elektrische Größen, z.B. die elektrische Spannung im Zeitpunkt des elektrischen Durchschlags, d.h. also während des Fließens des Lichtbogenstromes oder bei Vorliegen eines Kurzschlusses des Kurzschlussstromes in jedem Einspeisestrang gemessen werden, so dass über das Verhältnis der Stromflüsse oder korrespondierenden Spannungen der Ort des Funken oder Kurzschlusses und damit der Ort der Schadstelle in guter Annäherung ermittelt werden kann, da dieses Verhältnis weitgehend dem Abstandsverhältnis der Einspeisestellen zum Ort des Funken bzw. Kurzschlusses entspricht. Die Messung der Spannungsverhältnisse bei beschädigungsbedingtem Kurzschluss oder beschädigungsbedingter Funkenentladung kann dabei auch unmittelbar in einer der beiden leitfähigen Schichten 6, 7 erfolgen oder auch indirekt ohne galvanische Verbindung zum elektrischen Messkreis durch eine oder mehrere kapazitiv gekoppelte Sonden, z.B. von der Sichtseite der Abdichtung 3 aus.

[0039] Alternativ dazu oder zusätzlich kann das Auftreten von Zündfunken bzw. Lichtbögen erfindungsgemäß auch dadurch detektiert werden, dass die vom Zündfunken bzw. Lichtbogen ausgehenden elektromagnetischen Störsignale (so genannte Bursts) mit einem geeigneten Detektor (nicht gezeigt) erfasst werden und/oder dass die vom Lichtbogen an der Schadstelle ausgehenden Licht- und/oder Wärmestrahlungs- und/oder Materialerwärmungseffekte in geeigneter Weise erfasst und ausgewertet werden, z.B. durch geeignete Bildaufzeichnungsverfahren, dies auch insoweit, dass die erfassten Störsignale und/oder Licht- und/oder Wärmestrahlungs- und/oder Materialerwärmungseffekte auch für die Lokalisierung der Funken- und/oder Kurzschlussstelle und damit der Beschädigungsposition herangezogen werden kann. Hierfür kann beispielsweise eine Kamera (nicht gezeigt), insbesondere eine Wärmebildkamera verwendet werden.

[0040] Im einfachsten Fall erfolgt erfindungsgemäß die Ortung der Funkenstrecke jedoch rein visuell, entweder dadurch, dass während des Bestehens des Lichtbogens dieser erkannt und lokalisiert wird oder indem die Schadstelle anhand der durch Funkenerosion und/oder Wärmeeinwirkung hervorgerufenen Veränderungen auf der Sichtseite der Abdichtung 3 erkannt und geortet werden, während der Funkenbildung oder nachdem die Funkenbildung oder der Kurzschlussstrom zum Erliegen gekommen ist. Hierzu kann es vorteilhaft sein, die Funkenbildung an der Schadstelle bzw. den Kurzschlussstrom solange aufrecht zu erhalten, bis eine deutlich erkennbare thermische Wirkung an der Schadstelle entstanden ist.

[0041] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens eine der leitfähigen Schichten 6, 7 als leitfähiges Vlies, Gewebe, Gewirke oder sonstiges Flächengebilde ausgebildet, wobei die erforderliche Leitfähigkeit durch Zugabe von elektrisch leitfähigen Partikeln und/oder Fasern und/oder Fäden und/oder Drähten zu dem selbst nicht leitfähigen Vliesstoff, Gewebe, Gewirke oder Flächengebilde und/oder durch eine Beschichtung oder Tränkung des selbst nicht leitfähigen Vliesstoffes, Gewebes, Gewirkes oder Flächengebildes mit entsprechenden leitfähigen Stoffen und/oder durch eine Metallbedampfung des selbst nicht leitfähigen Vliesstoffes, Gewebes, Gewirkes oder Flächengebildes erreicht wird und/oder ein Vlies, Gewebe, Gewirke oder sonstiges Flächengebilde verwendet wird, das durch Verwendung elektrisch leitfähiger Fasern und/oder Fäden die zur Durchführung des Prüfverfahrens erforderliche Leitfähigkeit aufweist.

[0042] In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die elektrische Leitfähigkeit des Vliesstoffes oder sonstigen Flächengebildes dadurch erreicht, dass ein stark hygroskopischer Stoff auf das Trägermaterial des Vliesstoffes bzw. Flächengebildes aufgetragen oder in das Trägermaterial eingearbeitet wird, so dass oberhalb einer bestimmten Luftfeuchte der Stoff in der hygroskopisch aufgenommenen Feuchtigkeit zumindest teilweise dissoziiert und eine ionogene, für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausreichende elektrische Leitfähigkeit der im Vliesstoff oder im Flächengebilde aufgenommenen Flüssigkeit hervorruft. Vorzugsweise erfolgt der Auftrag des hygroskopischen Stoffes dabei in wässriger Phase.

[0043] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung bzw. -anordnung ist der Vliesstoff oder das sonstige Flächengebilde in der Mikrostruktur seiner in Richtung auf die zu prüfende Abdichtung 3 weisenden Oberfläche so beschaffen, dass elektrisch leitfähige Fasern, Partikel, Fäden und/oder Drähte aus der Oberfläche so herausstehen, dass bei Anlegen der Prüfspannung zwischen den leitfähigen Schichten 6, 7 sich an den solchmaßen hervorstehenden Teilen hohe Feldstärkespitzen einstellen, mit der Folge, dass die Zündung von Lichtbögen bei Vorliegen der bestimmungsgemäßen Schadensvoraussetzungen begünstigt wird.

[0044] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung besteht das Trägermaterial des Vliesstoffes oder Flächengebildes 6, 7 aus im Vergleich zu thermoplastischen Kunststoffen thermisch deutlich widerstandsfähigeren Bestandteilen, vorzugsweise Glas-, Metall- und/oder Kohlenstofffasern und/oder thermisch beständigeren, leitfähigen Partikeln, Fasern und/oder Fäden, um zu verhindern, dass infolge der Wärmeentwicklung während des elektrischen Lichtbogens die Oberfläche des Vliesstoffes oder des Flächengebildes 6, 7 im Bereich des Lichtbogens vorzeitig schmilzt und verklebt oder verbrennt bzw. verdampft. Hierdurch wird verhindert, dass

der Lichtbogen vorzeitig verlöscht und auch an dieser Stelle nicht wieder gezündet werden kann, ohne dass es an der Schadstelle zu einer für die visuelle Erkennung erforderlichen thermisch bedingt sichtbaren Materialveränderung oder für eine thermografische Erkennung ausreichenden Materialerwärmung gekommen ist.

[0045] In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind eine oder auch beide leitfähige Schichten, durch die die zu prüfende Abdichtung 3 begrenzt wird, Teil der Baukonstruktion, z.B. das Auflager der Abdichtung 3 (z.B. das Außengewölbe 2 in Fig. 1) und/oder eine konstruktive Abdeckung der Abdichtung 3 und weist bzw. weisen eine gegenüber dem Abdichtungsmaterial deutlich höhere, für die Durchführung des Prüfverfahrens ausreichende elektrische Leitfähigkeit auf, so dass auf die Verwendung einer oder sogar beider sandwichartig in die Abdichtung 3 integrierter leitfähiger Schichten 6, 7 für die Durchführung des Prüfverfahrens verzichtet werden kann.

[0046] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist mindestens eine der leitfähigen Schichten 6, 7 nicht bis zum Rand der Abdichtung 3 geführt, sondern nur so weit, dass die Länge und damit die Durchschlagsfestigkeit der Luftstrecke zwischen den beiden mit Prüfspannung beaufschlagten Schichten größer ist als die zur Dichtheitsprüfung verwendete Prüfspannung (vgl. Fig. 2 und 3).

[0047] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist mindestens eine der leitfähigen Schichten 6, 7 innerhalb der Abdichtungsbahn 3 angeordnet, wobei diese innen liegende leitfähige Schicht 6 insgesamt schmaler ist, als die zu prüfende Abdichtungsbahn 3, so dass die leitfähige Schicht 6 an den Bahnenlängsseiten vollständig von elektrisch isolierendem Dichtungsmaterial umschlossen ist und an den Längskanten der Dichtungsbahn eine für die Durchführung des Prüfverfahrens ausreichend hohe Durchschlagsfestigkeit gegenüber der zweiten leitfähigen Schicht 7 erreicht wird (vgl. Fig. 2).

[0048] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung wird die nach Verlegung der Abdichtung bzw. Dichtungsbahn 3 gebirgsseitig oder dichtungsunterseitig angeordnete leitfähige Schicht 6 als leitfähiges Vlies ausgebildet, wobei das leitfähige Vlies an einer Längsseite der Dichtungsbahn 3 weitgehend bündig bis an den Rand der Abdichtung 3 geführt ist, an der anderen Längsseite der zu prüfenden Dichtungsbahn 3 aber in Breite der Verschweißungszone 11 gegenüber dem Bahnenrand zurücksteht, so dass das Vlies vor einer Verschweißung mit der benachbarten Dichtungsbahn 3 nicht aufwändig aus der Schweißzone entfernt werden muss (vgl. Fig. 3).

[0049] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist dieser frei liegende, nicht mit elektrisch leitfähigem Vlies 6, 7 abgedeckte Schweißrand 11 der Dichtungsbahn 3 mit einer leicht entfernbaren elektrischen Schicht 61, 71 ausgerüstet, die elektrisch mit dem leitfähigen Vlies 6, 7

in geeigneter Weise verbunden ist (vgl. Figuren 3 und 4). Hierdurch wird erreicht, dass die zu prüfende Dichtungsbahn 3 vor dem Verschweißen mit einer benachbarten Dichtungsbahn 3 auf voller Breite mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geprüft werden kann, ohne dass die leitfähige Schicht 6, 7 nach der Prüfung und vor dem Verschweißen aufwändig aus der Schweißzone 11 entfernt werden muss. Die im Bereich 11 der späteren Schweißzone angeordnete leitfähige Schicht 6, 7 kann dabei vorteilhafter Weise aus einer elektrisch leitfähigen Selbstklebefolie oder einem elektrisch leitfähigen Selbstklebevlies oder aus einer elektrisch leitfähigen abwischbaren oder abwaschbaren Beschichtung bestehen.

[0050] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung kann die leitfähige Schicht 6, 7 im Bereich der Verschweißungszone 11 auch dergestalt realisiert werden, dass das auf der Abdichtungsrückseite angeordnete Vlies in der gesamten Breite der zu prüfenden Dichtungsbahn 3 appliziert wird, wobei es jedoch im Bereich der Verschweißungszone 11 nur eine geringe Haftzugfestigkeit gegenüber der Dichtungsbahn 3 aufweist, so dass es nach der Dichtheitsprüfung und vor der Verschweißung ohne großen Aufwand im Bereich der Verschweißungszone abgelöst werden kann und anschließend durch Umklappen oder Zurückschneiden aus der Verschweißungszone 11 gebracht werden kann. Das Umklappen der leitfähigen Schicht 6 bzw. 7 ist in Fig. 5 durch Pfeile angedeutet.

[0051] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist die Leitfähigkeit mindestens einer der leitfähigen Schichten 6, 7, vorteilhafter Weise die innerhalb der zu prüfenden Abdichtung 3 angeordnete oder auf der zugänglichen Sichtseite der Abdichtung 3 angeordnete leitfähige Schicht 7 in ihrer flächigen Leitfähigkeit so eingestellt, dass der selbst bei Anliegen der maximal möglichen Prüfspannung und vollständiger elektrischer Aufladung der Abdichtung im Fall eines Kurzschlusses zwischen den leitfähigen Schichten 6, 7 maximal mögliche Kurzschluss- bzw. Entladestrom über die insoweit den Innenwiderstand der aufgeladenen Abdichtung 3 bedingende leitfähige Schicht 7 so weit begrenzt wird, dass keine Gefahren für die Prüfvorrichtung 5 selbst oder für Leib und Leben entstehen kann, dies unabhängig davon, an welcher Stelle der Abdichtung es zu einem Kontakt oder einer Näherung an die unter Prüfspannung stehende Abdichtung durch Fremdkörper oder Personen kommt. Vorzugsweise weist diese leitfähige Schicht 7 oder weisen beide leitfähige Schichten 6, 7 hierzu einen Oberflächenwiderstand von mehr als 10^4 Ohm auf und einen spezifischen Widerstand von mehr als 10^3 Ohm cm auf. Insbesondere sieht eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung vor, dass auf der Sichtseite der innenliegenden leitfähigen Schicht 7 eine elektrisch nicht leitfähige Folie bzw. Schutzschicht 12 angeordnet ist, die vorzugsweise einen hellen Farbton besitzt.

[0052] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist mindestens eine der erforderlichen elektrisch leitfähigen Schichten 6, 7 als Metallfolie oder metallisierte Kunststoffolie oder als metallisches oder metallisiertes sonstiges Flächengebilde ausgebildet, wobei zumindest eine Oberfläche elektrisch nicht leitend ist. Vorzugsweise findet eine metallisierte oder durch Zugabe von Leitfähigkeitserhöhenden Stoffen leitfähig eingestellte oder durch Verwendung intrinsisch leitfähiger Kunststoffe leitfähige Kunststoffolie Verwendung, die so auf der zu prüfenden Abdichtung 3 angeordnet ist, dass sich ihre elektrisch nicht leitende Seite auf der der Abdichtung 3 abgewandten Seite befindet, so dass bei Berührung der Oberfläche der solchermaßen ausgerüsteten Abdichtung 3 kein elektrischer Kontakt mit der Prüfspannung zustande kommt, sofern die Ränder der leitfähigen Schicht 7 an den Rändern des Prüfabschnittes sauber isoliert sind und die nicht leitende Rückseite der leitfähigen Schicht 7 nicht beschädigt ist. Wird zwischen der dergestalt ausgebildeten leitfähigen Schicht 7 und einer nach Fertigstellung der Abdichtung 3 verlegten Stahlbewehrung, z.B. einer Tunnelinnenschale 4, der elektrische Widerstand gemessen, so kann erfindungsgemäß festgestellt werden, ob die Bewehrung in einer Weise an der Abdichtung 3 anliegt, dass die Abdichtung oberseitig bereits beschädigt wurde, ohne aber bereits durchstoßen worden zu sein, wobei die Position der Beschädigung in der bereits beschriebenen Art und Weise über die Messung der Strangströme oder die Widerstandsverhältnisse oder der Spannungsverhältnisse bei Messung über mindestens zwei beabstandete Einspeisestränge oder über mindestens zwei beabstandete Messpunkte in einer der leitfähigen Schichten 6, 7 eingegrenzt werden kann, so dass die Gefahrenstelle noch vor dem Betonieren erkannt und beseitigt werden kann.

[0053] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist eine der leitfähigen Schichten so ausgebildet, dass sie fest mit der zu prüfenden Abdichtung 3 verbunden ist, wobei die leitfähige Schicht an zumindest einer Längsseite der zu prüfenden Abdichtungsbahn 3 nicht bis an deren Rand herangeführt, sondern von diesem mindestens so weit beabstandet ist, dass eine Verschweißung der Abdichtungsbahn 3 mit ihrer Nachbarbahn 3 möglich ist, ohne dass die leitfähige Schicht in die Fügezone 11 hineinreicht.

[0054] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist mindestens eine der leitfähigen Schichten 6, 7 so ausgebildet, dass sie bis an den Rand der zu verbindenden Bahnen und damit bis in die Fügezone heranreicht, wobei sie beim Verbindungsvorgang in der Fügezone 11 verbleibt und sich beim Fügevorgang mit dem fügebedingt plastifizierten Material der Abdichtung 3 so vermengt, dass die Leitfähigkeit der Schicht 6, 7 im Fugebereich unterbrochen wird.

[0055] In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungs-

gemäßen Bauwerksabdichtung bzw. Prüfanordnung ist mindestens eine leitfähige Schicht 6, 7 als abziehbare filmartige Schicht auf der zu prüfenden Abdichtung 3 ausgebildet, so dass die Schicht zumindest, soweit es zum Fügen einzelner Abdichtungsbahnen 3 erforderlich ist, partiell wieder von der Abdichtung 3 abgezogen werden kann.

[0056] In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die vorstehend beschriebene leitfähige Schicht auch dazu verwendet, um während des Betoniervorgangs zu überprüfen, ob z.B. beim Betonieren einer Tunnelinnenschale der zu betonierende Ringraum vollständig mit Beton gefüllt ist oder ob nicht ausgefüllte Bereiche vorhanden sind, bei denen bei späterer Druckwasserbeaufschlagung die Tunnelabdichtung ungeschützt auf die Bewehrung der Innenschale gedrückt wird. Hierzu wird erfindungsgemäß die elektrische Kapazität einer oder beider leitfähigen Schichten, die dabei keinen elektrischen Kontakt mit der Bauwerksmasse bzw. dem eingebrachten Beton haben dürfen, beim Betoniervorgang oder danach gegen den eingebrachten Beton gemessen und die gemessenen Werte werden mit einem Sollwert oder einem Vergleichswert verglichen.

[0057] Die Ausführung oder Anwendung der Erfindung ist nicht auf Tunnel beschränkt. Vielmehr lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Bauwerksabdichtung auch vorteilhaft bei der Dichtheitskontrolle von Abdichtungen von Deponien, Flüssigkeitsbecken und/oder Dächern, insbesondere Flachdächern anwenden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere von einer reduzierten Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an einer membranartigen, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigen Bauwerksabdichtung (3), die im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist und mit einer elektrisch leitfähigen Schicht (6) versehen ist, die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung (3) angeordnet ist, sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt und an die eine elektrische Prüfspannung angelegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Feststellung besagter Schad-, Fehl- und/oder Schwachstellen eine weitere elektrisch leitfähige Schicht (7) verwendet wird, die durch die Bauwerksabdichtung (3) von der besagten elektrisch leitfähigen Schicht (6) elektrisch getrennt ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung (3) erstreckt, wobei die Höhe der Prüfspannung zwischen den spannungsbeaufschlagten elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) so gewählt wird, dass es bei Vorhandensein mindestens einer elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigen Schad-, Fehl- und/

oder Schwachstelle in der Bauwerksabdichtung (3) zu einem Überschreiten der elektrischen Durchschlagsfestigkeit und zur Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens am Ort der Schad-, Fehl- und/oder Schwachstelle kommt, wobei die Prüfspannung kleiner gewählt wird als eine zerstörende Prüfspannung, bei welcher sich an einer der zu prüfenden Bauwerksabdichtung (3) entsprechenden unbeschädigten und/oder ungeschwächten Bauwerksabdichtung ein elektrischer Durchschlag mit Ausbildung eines elektrischen Funkens oder Lichtbogens ergeben würde.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an die elektrisch leitfähigen Schichten angelegte Prüfspannung so gewählt wird, dass sie mindestens 1000 Volt pro Millimeter Dicke der zu prüfenden Bauwerksabdichtung (3) beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei an die leitfähigen Schichten angelegter Prüfspannung ein Auftreten von Zündfunken und/oder Lichtbögen detektiert wird, indem die vom Zündfunken und/oder Lichtbogen ausgehenden elektromagnetischen Störsignale mit einem Detektor erfasst werden und/oder indem die vom Zündfunken und/oder Lichtbogen ausgehenden Licht-, Wärmestrahlungs- und/oder Materialerwärmungseffekte erfasst und ausgewertet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe der über die leitfähigen Schichten (6, 7) an die zu prüfende Bauwerksabdichtung angelegten Spannung und/oder der Stromfluss von der Spannungsquelle (8) in eine der leitfähigen Schichten (6, 7) gemessen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zu prüfende Bauwerksabdichtung (3) in einzelne Prüfabschnitte unterteilt wird, indem mindestens eine der elektrisch leitfähigen Schichten so segmentiert wird, dass sich beim Anlegen der Prüfspannung an das jeweilige Segment der leitfähigen Schicht (6, 7) eine auf den zugeordneten Prüfabschnitt beschränkte Spannungsbeaufschlagung ergibt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine elektrisch leitfähige Auflagerschicht (2) der Bauwerksabdichtung (3) als eine der elektrisch leitfähigen Schichten genutzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die auf der zugänglichen Seite der Bauwerksabdichtung (3) angeordnete elektrisch leitfähige Schicht (7) mit einer elektrisch nicht leitenden Schicht (12), vorzugsweise

einer hellfarbigen Kunststoffolie versehen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vollflächige Ausbildung der zumindest auf der zugänglichen Seite der Bauwerksabdichtung (3) angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht (7) und/oder die vollflächige Ausbildung der auf der Rückseite der Bauwerksabdichtung (3) angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht (6) mittels elektrischer Kapazitätsmessung geprüft wird. 5
9. Membranartige Bauwerksabdichtung (3) aus elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähigem Material, die im Vergleich zu Luft eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit aufweist, mit einer elektrischen Spannungsquelle aufweisenden Prüfvorrichtung (5) zur Feststellung von Schad- oder Fehlstellen, insbesondere eine reduzierte Materialstärke aufweisenden Schwachstellen an der Bauwerksabdichtung (3), und einer elektrisch leitfähigen Schicht (6), die innerhalb oder außerhalb der Bauwerksabdichtung angeordnet ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung (3) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine weitere elektrisch leitfähigen Schicht (7) vorgesehen ist, die durch die Bauwerksabdichtung (3) von der besagten elektrisch leitfähigen Schicht elektrisch getrennt ist und sich im Wesentlichen vollflächig über die Bauwerksabdichtung erstreckt, wobei die Prüfvorrichtung (5) Mittel zur Einstellung der Höhe der über die elektrisch leitfähigen Schichten an der Bauwerksabdichtung anlegbaren Prüfspannung aufweist, so dass die Prüfspannung von Null oder einem Minimalwert größer Null stetig oder schrittweise bis zu einem elektrischen Spannungswert erhöhbar ist, der um einen Sicherheitsbetrag reduziert unterhalb einer zerstörenden Spannung liegt, bei welcher sich an einer der zu prüfenden Bauwerksabdichtung (3) entsprechenden unbeschädigten und/oder ungeschwächten Bauwerksabdichtung ein elektrischer Durchschlag mit Ausbildung eines elektrischen Funken oder Lichtbogens ergeben würde. 10 15 20 25 30 35 40
10. Bauwerksabdichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Detektor aus mindestens einer Kamera, insbesondere Wärmebildkamera gebildet ist. 45
11. Bauwerksabdichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie durch eine Segmentierung mindestens einer der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) in einzelne Prüfabschnitte unterteilt ist. 50
12. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) und die membranartige, elektrisch nicht oder nur geringfügig leitfähige Bauwerksabdichtung (3) als vorgefertigtes mehrschichtiges Sandwichsystem ausgebildet sind, wobei die elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) mit der sie elektrisch trennenden Bauwerksabdichtung (3) stoffschlüssig und/oder formschlüssig verbunden sind. 55
13. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) einen elektrischen Oberflächenwiderstand von weniger als 10^6 Ohm und/oder einen spezifischen elektrischen Widerstand von weniger als 10^5 Ohm/cm aufweisen.
14. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) aus einem Vlies, Gewirke oder sonstigen Flächengebilde gebildet ist, das aus selbst nicht leitfähigem Material hergestellt ist, wobei das Vlies oder Flächengebilde mit einem hygroskopischen Stoff versehen ist.
15. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) innerhalb einer Kunststoffdichtungsbahn angeordnet ist, aus der die Bauwerksabdichtung (3) gebildet ist, wobei diese elektrisch leitfähige Schicht (6) insgesamt schmaler ist als die Kunststoffdichtungsbahn, so dass die elektrisch leitfähige Schicht (6) an den Längsseiten der Kunststoffdichtungsbahn vollständig von elektrisch isolierendem Dichtungsmaterial ummantelt ist.
16. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese aus miteinander verschweißbaren Kunststoffdichtungsbahnen gebildet ist, wobei eine der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) mit der Rückseite der jeweiligen Kunststoffdichtungsbahn verbunden ist, wobei diese rückseitig angeordnete leitfähige Schicht bündig oder nahezu bündig mit dem einen Längsrand der Kunststoffdichtungsbahn abschließt und gegenüber dem anderen Längsrand der Kunststoffdichtungsbahn um eine einen rückseitigen Fügerand (11) definierende Breite versetzt endet, und wobei der rückseitige Fügerand (11) mit einer leicht entfernbaren elektrisch leitfähigen Randschicht (61, 71) ausgerüstet ist, die mit der rückseitig angeordneten leitfähigen Schicht (6, 7) elektrisch verbunden ist.
17. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7), insbesondere die auf der zugänglichen Sichtseite der Bauwerksabdichtung (3) angeordnete leitfähige

Schicht (7) in ihrer flächigen Leitfähigkeit so eingestellt ist, dass der selbst bei Anliegen der maximal möglichen Prüfspannung und vollständiger elektrischer Aufladung der Bauwerksabdichtung im Falle eines Kurzschlusses zwischen den elektrisch leitfähigen Schichten fließende maximale Kurzschluss- oder Entladestrom auf einen nicht lebensgefährlichen Wert begrenzt ist.

18. Bauwerksabdichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese oder beide elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) einen elektrischen Oberflächenwiderstand von mehr als 10^4 Ohm und/oder einen spezifischen elektrischen Widerstand von mehr als 10^3 Ohm/cm aufweisen.

19. Bauwerksabdichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der elektrisch leitfähigen Schichten (6, 7) aus einer Metallfolie, einer metallisierten Kunststoffolie, einer durch leitfähigkeitserhöhende Zusatzstoffe elektrisch leitfähig eingestellten Kunststoffolie, einer aus intrinsisch leitfähigen Kunststoffen hergestellten elektrisch leitfähigen Kunststoffolie, einem metallischen Flächengebilde oder einem metallisierten Flächengebilde gebildet ist, wobei ihre der Bauwerksabdichtung (3) abgewandte Seite elektrisch nicht leitend ausgebildet und/oder mit einer elektrisch nicht leitenden Schicht (12) versehen ist.

Claims

1. A method for detecting damaged or faulty points, in particular weak points having a reduced material thickness in a membrane-type, electrically non-conductive or only poorly conductive structural seal (3) which has a high electrical disruptive strength by comparison with air and is provided with an electrically conductive layer (6), which is arranged inside or outside the structural seal (3) and extends over substantially the entire surface of the structural seal and to which an electrical test voltage is applied, **characterised in that** to detect the aforementioned damaged, faulty and/or weak points, a further electrically conductive layer (7) is used, which is electrically separated from the aforementioned electrically conductive layer (6) by the structural seal (3) and extends over substantially the entire surface of the structural seal (3), the level of the test voltage between the electrically conductive layers (6, 7) charged with voltage being selected in such a way that if there exists at least one electrically non-conductive or only poorly conductive damaged, faulty and/or weak point in the structural seal (3), this results in the electrical disruptive strength being exceeded and an electric spark or arc being formed at the location of the damaged, faulty and/or weak

point, the test voltage being selected to be smaller than a destructive test voltage at which an electrical breakdown accompanied by the formation of an electric spark or arc would occur in an undamaged and/or un-weakened structural seal corresponding to the structural seal (3) to be tested.

2. The method according to claim 1, **characterised in that** the test voltage applied to the electrically conductive layers is selected to be at least 1000 volts per millimetre thickness of the structural seal (3) to be tested.

3. The method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the appearance of ignition sparks and/or electric arcs when the test voltage is applied to the conductive layers is detected by detecting the electromagnetic interference signals proceeding from the ignition spark and/or electric arc using a detector and/or by detecting and evaluating the light, thermal radiation and/or material heating effects proceeding from the ignition spark and/or electric arc.

4. The method according to any of claims 1 to 3, **characterised in that** the level of the voltage applied via the conductive layers (6, 7) to the structural seal to be tested and/or the flow of current from the voltage source (8) into one of the conductive layers (6, 7) is measured.

5. The method according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the structural seal (3) to be tested is subdivided into individual test portions, **in that** at least one of the conductive layers is segmented in such a way that, when the test voltage is applied to the respective segment of the conductive layer (6, 7), the charging with voltage is restricted to the associated test portion.

6. The method according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** an electrically conductive abutment layer (2) of the structural seal (3) is used as one of the electrically conductive layers.

7. The method according to any of claims 1 to 6, **characterised in that** at least the electrically conductive layer (7) arranged on the accessible side of the structural seal (3) is provided with an electrically non-conductive layer (12), preferably a light-coloured plastics material film.

8. The method according to any of claims 1 to 7, **characterised in that** it is tested using electrical capacitance measurement whether the electrically conductive layer (7) arranged at least on the accessible side of the structural seal (3) is formed over the entire surface and/or whether the electrically conductive layer (6) arranged on the rear side of the structural

seal (3) is formed over the entire surface.

9. A membrane-type structural seal (3), which is made of electrically non-conductive or only poorly conductive material and has a high electrical disruptive strength by comparison with air, comprising a test device (5) having an electrical voltage source for detecting damaged or faulty points, in particular weak points having a reduced material thickness in the structural seal (3), and comprising an electrically conductive layer (6) which is arranged inside or outside the structural seal and extends over substantially the entire surface of the structural seal (3), **characterised in that** a further electrically conductive layer (7) is provided, which is electrically separated from the aforementioned electrically conductive layer by the structural seal (3) and extends over substantially the entire surface of the structural seal, the test device (5) comprising means for setting the level of the voltage which can be applied to the structural seal via the electrically conductive layers in such a way that the test voltage can be increased continuously or in steps from zero or a minimum value greater than zero to an electrical voltage which is reduced by a precautionary amount below a destructive voltage at which an electrical breakdown accompanied by the formation of an electric spark or arc would occur in an undamaged and/or un-weakened structural seal corresponding to the structural seal (3) to be tested.
10. The structural seal according to claim 9, **characterised in that** the detector is formed from at least one camera, in particular a thermal imaging camera.
11. The structural seal according to claim 9 or 10, **characterised in that** it is subdivided into individual test portions by segmentation of at least one of the electrically conductive layers (6, 7).
12. The structural seal according to any of claims 9 to 11, **characterised in that** the electrically conductive layers (6, 7) and the membrane-type, electrically non-conductive or only poorly conductive structural seal (3) are constructed as a preformed multilayer sandwich system, the electrically conductive layers (6, 7) being materially and/or positively connected to the structural seal (3) separating them electrically.
13. The structural seal according to any of claims 9 to 12, **characterised in that** the electrically conductive layers (6, 7) have an electrical surface resistance of less than 10^6 ohm and/or an electrical resistivity of less than 10^5 ohm/cm.
14. The structural seal according to any of claims 9 to 13, **characterised in that** at least one of the electrically conductive layers (6, 7) is formed from a non-woven fabric, knitted fabric or another planar formation which is manufactured from inherently non-conductive material, the non-woven fabric or planar formation being provided with a hygroscopic substance.
15. The structural seal according to any of claims 9 to 14, **characterised in that** at least one of the electrically conductive layers (6, 7) is arranged inside a plastics material sealing web from which the structural seal (3) is formed, this electrically conductive layer (6) being smaller overall than the plastics material sealing web, in such a way that the electrically conductive layer (6) is completely enclosed by electrically insulating sealing material at the longitudinal sides of the plastics material sealing web.
16. The structural seal according to any of claims 9 to 15, **characterised in that** it is formed from plastics material sealing webs which can be welded together, one of the electrically conductive layers (6, 7) being connected to the rear side of the respective plastics material sealing web and this conductive layer which is arranged on the rear side ending flush or virtually flush with one longitudinal edge of the plastics material sealing web and ending offset from the other longitudinal edge by a width defining a rear joining edge (11), wherein the rear joining edge (11) is equipped with an easily removable electrically conductive edge layer (61, 71) which is electrically connected to the conductive layer (6, 7) arranged on the rear side.
17. The structural seal according to any of claims 9 to 16, **characterised in that** the surface conductivity of at least one of the electrically conductive layers (6, 7), in particular the conductive layer (7) arranged on the accessible, visible side of the structural seal (3), is set in such a way that even when the maximum possible test voltage and full electrical charge of the seal are applied in the case of a short circuit between the conductive layers the maximum possible short-circuit or discharge current is limited to a non-life-threatening level.
18. The structural seal according to claim 17, **characterised in that** this electrically conductive layer or both electrically conductive layers (6, 7) have a surface resistance greater than 10^4 ohm and/or an electrical resistivity greater than 10^3 ohm/cm.
19. The structural seal according to any of claims 9 to 18, **characterised in that** at least one of the electrically conductive layers (6, 7) is formed from a metal film, a metallised plastics material film, a plastics material film made electrically conductive by adding conductivity-increasing substances, an electrically conductive plastics material film made of intrinsically

conductive plastics materials, a metal planar formation or a metallised planar formation, the side thereof facing away from the structural seal (3) being formed so as to be electrically non-conductive and/or provided with an electrically non-conductive layer (12).

Revendications

1. Procédé pour la détection de points d'endommagements ou de défauts, en particulier de points faibles, présentant une épaisseur de matériau réduite, dans un étanchement d'ouvrage (3), genre membrane, électriquement non conducteur ou seulement faiblement conducteur, qui présente, par rapport à l'air, une résistance diélectrique disruptive élevée et est doté d'une couche électriquement conductrice (6), qui est disposée à l'intérieur ou à l'extérieur de l'étanchement d'ouvrage (3), s'étend sensiblement sur toute la surface de l'étanchement d'ouvrage et sur laquelle est appliquée une tension électrique d'essai, **caractérisé en ce que**, pour la détection desdits points d'endommagements, de défauts et / ou faibles, est utilisée une autre couche électriquement conductrice (7), qui est électriquement séparée de ladite couche électriquement conductrice (6) par l'étanchement d'ouvrage (3) et qui s'étend sensiblement sur toute la surface de l'étanchement d'ouvrage (3), sachant que l'hauteur de la tension d'essai entre les couches électriquement conductrices (6, 7) soumises à la tension, est choisie de sorte que, lors de la présence d'au moins un point d'endommagement, de défaut et / ou faible et électriquement non conducteur ou seulement faiblement conducteur dans l'étanchement d'ouvrage (3), la résistance diélectrique disruptive soit dépassée et qu'une étincelle électrique ou un arc électrique se produise à l'endroit du point d'endommagement, de défaut et / ou faible, sachant que la tension d'essai est choisie inférieure à une tension d'essai destructive, à laquelle un claquage électrique avec formation d'une étincelle électrique ou d'un arc électrique aurait lieu sur un étanchement d'ouvrage non endommagé et / ou non atténué, correspondant à l'étanchement d'ouvrage (3) à contrôler.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la tension d'essai appliquée sur les couches électriquement conductrices est choisie de sorte qu'elle comporte au moins 1000 Volt par millimètre de l'épaisseur de l'étanchement d'ouvrage (3) à contrôler.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** une présence d'étincelles électriques et / ou d'arcs électriques est détectée lors de l'application de la tension d'essai sur les couches conductrices, en saisissant les signaux de perturbation élec-

tromagnétiques provenant de l'étincelle électrique et / ou du arc électrique, par un détecteur et / ou en saisissant et exploitant les effets lumineux, de radiation thermique et / ou l'échauffement du matériau, provenant de l'étincelle électrique et / ou du arc électrique.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'hauteur de la tension appliquée sur l'étanchement d'ouvrage à contrôler, par l'intermédiaire des couches conductrices (6, 7), et / ou le flux de courant de la source de tension (8) dans l'une des couches conductrices (6, 7) sont mesurés.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'étanchement d'ouvrage (3) à contrôler est divisé en sections à contrôler individuelles, en segmentant au moins l'une des couches électriquement conductrices de sorte que, lors de l'application de la tension d'essai sur chacun des segments de la couche conductrice (6, 7) l'application de la tension est limitée à la section à contrôler individuelles associée.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'une** couche de support électriquement conductrice (2) de l'étanchement d'ouvrage (3) est utilisée en tant que l'une des couches électriquement conductrices.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'au moins** la couche électriquement conductrice (7), disposée sur la face accessible de l'étanchement d'ouvrage (3), est pourvue d'une couche électriquement non conductrice (12), de préférence d'une feuille de matière synthétique de couleur claire.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la formation ininterrompue de la couche électriquement conductrice (7), disposée au moins sur la face accessible de l'étanchement d'ouvrage (3), et / ou la formation ininterrompue de la couche électriquement conductrice (6), disposée sur la face arrière de l'étanchement d'ouvrage (3), est contrôlée par mesure de capacité électrique.
9. Etanchement d'ouvrage (3) genre membrane en matériau électriquement non conducteur ou seulement faiblement conducteur, qui, par rapport à l'air, présente une résistance diélectrique disruptive élevée, avec un dispositif de contrôle (5), doté d'une source de tension électrique, pour la détection de points d'endommagements ou de défauts, en particulier de points faibles présentant une épaisseur de matériau réduite sur l'étanchement d'ouvrage (3), et avec une couche électriquement conductrice (6), qui est disposée à l'intérieur ou à l'extérieur de l'étanchement

- d'ouvrage (3) et s'étend sensiblement sur toute la surface de l'étanchement d'ouvrage (3), **caractérisé en ce qu'il** est prévue une autre couche électriquement conductrice (7), qui est électriquement séparée de ladite couche électriquement conductrice par l'étanchement d'ouvrage (3) et qui s'étend sensiblement sur toute la surface de l'étanchement d'ouvrage (3), sachant que le dispositif de contrôle (5) est doté de moyens de réglage de la hauteur de la tension d'essai devant être appliquée sur l'étanchement d'ouvrage (3) par l'intermédiaire des couches électriquement conductrices, de sorte que la tension d'essai puisse être élevée, en continu ou pas à pas, de zéro ou d'une valeur minimum supérieure à zéro jusqu'à une valeur de tension, qui, réduite d'un coefficient de sécurité, est située au-dessous d'une tension destructive, à laquelle un claquage électrique avec formation d'une étincelle électrique ou d'un arc électrique aurait lieu sur un étanchement d'ouvrage non endommagé et / ou non atténué, correspondant à l'étanchement d'ouvrage à contrôler.
10. Etanchement d'ouvrage selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le détecteur est formé par au moins une caméra, en particulier une caméra à rayonnement thermique.
11. Etanchement d'ouvrage selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce qu'il** est divisé en sections à contrôler individuelles par une segmentation d'au moins l'une des couches électriquement conductrices (6, 7).
12. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce que** les couches électriquement conductrices (6, 7) et l'étanchement d'ouvrage (3) genre membrane, électriquement non conducteur ou seulement faiblement conducteur sont prévues en forme de système sandwich multicouche préfabriqué, sachant que les couches électriquement conductrices (6, 7) sont reliées à l'étanchement d'ouvrage (3) qui les séparent électriquement par fusion de matériau et / ou par emboîtement.
13. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 12, **caractérisé en ce que** les couches électriquement conductrices (6, 7) présentent une résistance de surface inférieure à 10^6 Ohm et / ou une résistance électrique spécifique inférieure à 10^5 Ohm / cm.
14. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 13, **caractérisé en ce qu'au moins** une des couches électriquement conductrices (6, 7) consiste en un non-tissé, un tissu à mailles ou toute autre structure surfacique en matériau non conducteur de lui-même, sachant que le non-tissé ou la structure surfacique est pourvu/e d'une matière hygroscopique.
15. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 14, **caractérisé en ce qu'au moins** une des couches électriquement conductrices (6, 7) est disposée à l'intérieur d'une bande d'étanchéité en matière synthétique, à partir de laquelle l'étanchement d'ouvrage (3) est formé, sachant que cette couche électriquement conductrice (6) est globalement plus étroite que la bande d'étanchéité en matière synthétique, de sorte que, sur les côtés longitudinaux de la bande d'étanchéité en matière synthétique, la couche électriquement conductrice (6) se trouve complètement enveloppée de matériau d'étanchéité électriquement isolant.
16. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 15, **caractérisé en ce que** celui-ci est formé par des bandes d'étanchéité en matière synthétiques, qui peuvent être soudées ensemble, sachant que l'une des couches électriquement conductrices (6, 7) est reliée avec le dos de la bande d'étanchéité en matière synthétique respective, cette couche conductrice, disposée à l'arrière, se raccordant à fleur ou presque à fleur au bord longitudinal de la bande d'étanchéité en matière synthétique et se terminant, par rapport à l'autre bord longitudinal de la bande d'étanchéité en matière synthétique, avec un décalage, dont la largeur définit un bord de joint (11), et sachant que le bord de joint (11) arrière est pourvu d'une couche marginale électriquement conductrice (61, 71), pouvant être enlevée facilement, qui est reliée électriquement à la couche conductrice (6, 7), disposée à l'arrière.
17. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 16, **caractérisé en ce qu'au moins** une des couches électriquement conductrices (6, 7), en particulier la couche conductrice (7) disposée sur la face visible et accessible de l'étanchement d'ouvrage (3), présente une conductibilité en surface, qui est réglée de sorte que le courant maximal de court-circuit ou de décharge, circulant entre les couches électriquement conductrices en cas de court-circuit, même lors de l'application de la tension d'essai la plus élevée que possible et d'un chargement électrique complète de l'étanchement d'ouvrage, soit limité à une valeur non dangereuse pour la vie.
18. Etanchement d'ouvrage selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** celle-ci ou les deux couches électriquement conductrices (6, 7) présentent une résistance de surface supérieure à 10^4 Ohm et / ou une résistance électrique spécifique supérieure à 10^3 Ohm / cm.
19. Etanchement d'ouvrage selon l'une des revendications 9 à 18, **caractérisé en ce qu'au moins** une

des couches électriquement conductrices (6, 7) est formée par une feuille métallique, une feuille de matière synthétique métallisée, une feuille de matière synthétique, dont la conductibilité est ajustée par des matières additives accroissant la conductibilité, une 5
feuille de matière synthétique conductrice, fabriquée en matières synthétiques conductrices intrinsèques, une structure surfacique métallique ou une structure surfacique métallisée, sachant que sa face opposée 10
à l'étanchement d'ouvrage (3) n'est pas électriquement conductrice et / ou est pourvue d'une couche électriquement non conductrice (12).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

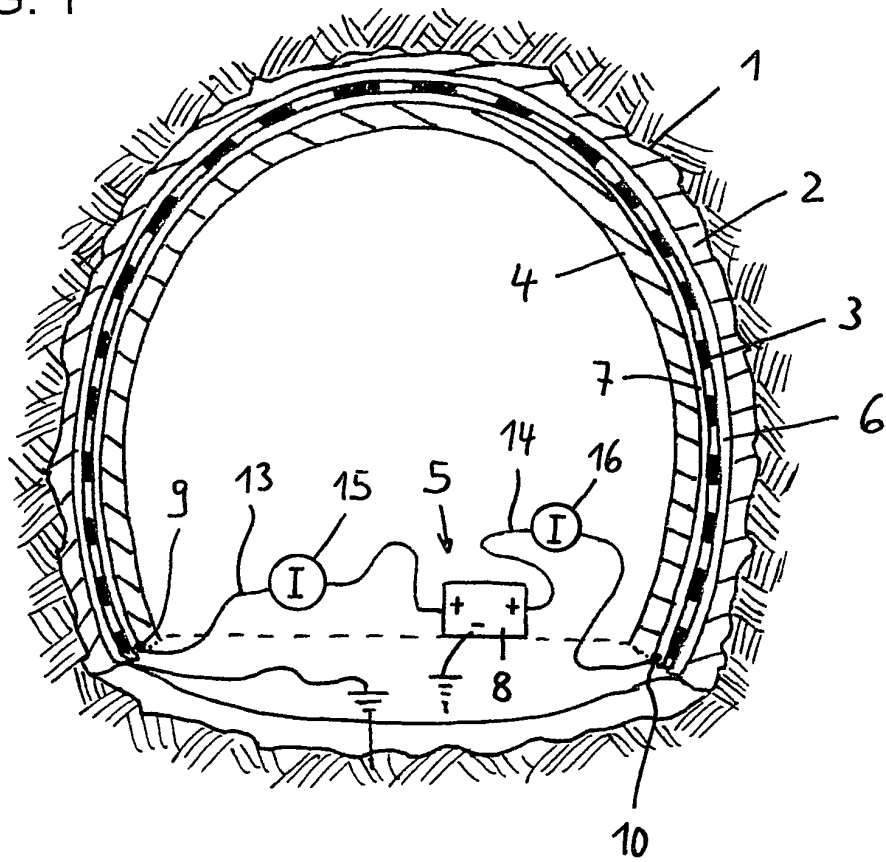


FIG. 2

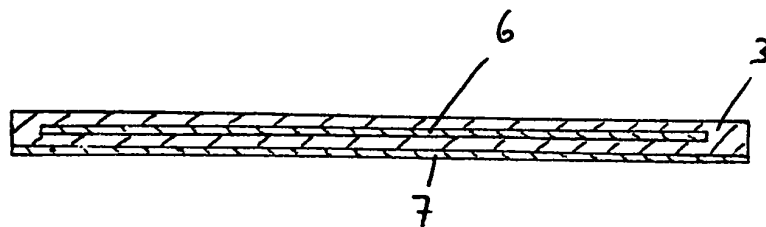


FIG. 3

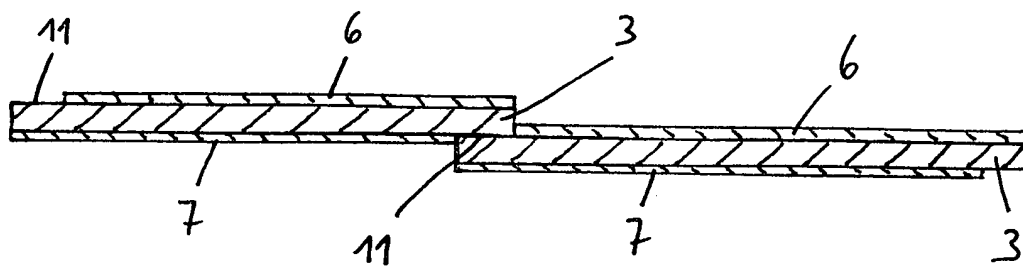


FIG. 4

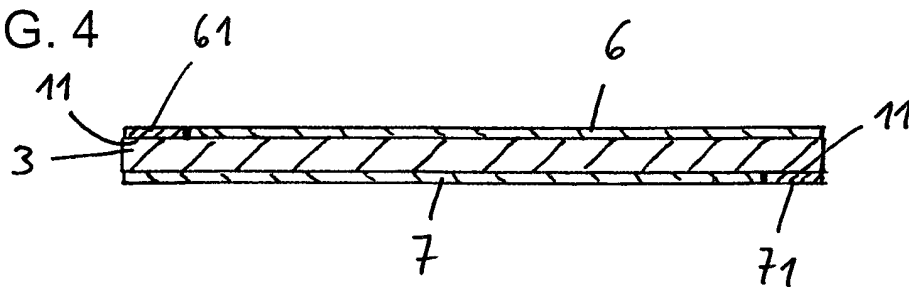


FIG. 5

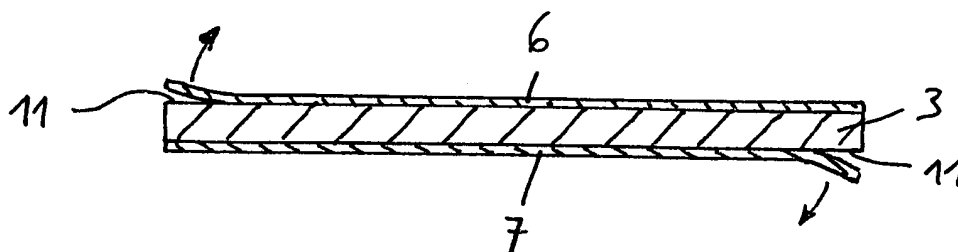
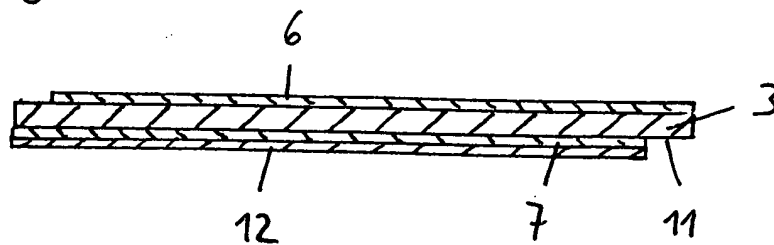


FIG. 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 4125430 C2 [0009]
- WO 0001895 A1 [0011]
- EP 0525278 A2 [0016]