

(19)



(11)

EP 3 701 126 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

09.02.2022 Patentblatt 2022/06

(21) Anmeldenummer: **19730286.2**

(22) Anmeldetag: **05.06.2019**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E21D 9/00 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E21D 9/003

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2019/064732

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/234131 (12.12.2019 Gazette 2019/50)

(54) **TUNNELBOHRMASCHINE UND VERFAHREN ZUM VORTREIBEN EINES TUNNELS**

TUNNEL BORING MACHINE AND TUNNELLING METHOD

TUNNELIER ET PROCÉDÉ DE CREUSEMENT DE TUNNEL

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL 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 RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **08.06.2018 DE 102018113788**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.09.2020 Patentblatt 2020/36

(73) Patentinhaber: **HERRENKNECHT AKTIENGESELLSCHAFT 77963 Schwanau (DE)**

(72) Erfinder: **WEISER, Torsten 77960 Seelbach (DE)**

(74) Vertreter: **RACKETTE Patentanwälte PartG mbB Postfach 13 10 79013 Freiburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-B3-102011 114 830

- **MARKUS SCHEFFER ET AL:** "Simulation of maintenance strategies in mechanized tunneling", 20161211; 1077952576 - 1077952576, 11. Dezember 2016 (2016-12-11), Seiten 3345-3356, XP058310170, DOI: 10.1109/WSC.2016.7822365 ISBN: 978-1-5090-4484-9

- **F Köppl ET AL:** "Cutting tool wear prognosis and management of wear-related risks for Mix-Shield TBM in soft ground", Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, September 2-6 2013, 6. September 2013 (2013-09-06), Seiten 1739-1742, XP055618835, Gefunden im Internet: URL:<http://www.issmge.org/uploads/publications/1/2/1739-1742.pdf> [gefunden am 2019-09-05]
- **Yao-Tung Leng:** "Review of Cutter Wear-Consumption and Specification Used in the Hsueshan Tunnel TBM Excavation", 2005 World Long Tunnels, 10. November 2005 (2005-11-10), Seiten 347-354, XP055618725, Taipei Gefunden im Internet: URL:<https://www.freeway.gov.tw/UserFiles/File/%E9%9B%AA%E5%B1%B1%E9%9A%A7%E9%81%93%E5%B0%88%E5%8D%80%E6%8A%80%E8%A1%93%E6%96%87%E7%8D%BB%E5%AD%B8%E8%A1%93%E5%B0%88%E5%8D%80%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E9%95%B7%E9%9A%A7%E9%81%93%E7%A0%94%E8%A8%8E%E6%9C%83%E9%9B%AA%E9%9A%A7%E7%9B%B8%E9%97%9C%E8%AB%96%E6%96%87/39> [gefunden am 2019-09-05]

EP 3 701 126 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 Erfindung betrifft eine Tunnelbohrmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels.

[0003] Eine derartige Tunnelbohrmaschine ist aus DE 10 2011 114 830 B3 bekannt. Diese Tunnelbohrmaschine verfügt über ein drehbares Schneidrad und weist eine Anzahl von mit Schneidrollen ausgestatteten Abbauwerkzeugen auf, die an dem Schneidrad an bestimmten Abbauwerkzeugpositionen angeordnet sind. Weiterhin ist eine Anzahl von Sensoreinheiten vorhanden, wobei eine Sensoreinheit jeweils einem Abbauwerkzeug zugeordnet und dazu eingerichtet ist, den Zustand des betreffenden Abbauwerkzeugs in Gestalt von zugeordneten Abbauwerkzeugdaten zu erfassen. Weiterhin ist eine Datenverarbeitungseinrichtung vorgesehen, die mit den Sensoreinheiten in Verbindung steht, um Drehzustände der Schneidrollen auf einem Bildschirm zur Anzeige zu bringen. MARKUS SCHEFFER ET AL: "Simulation of maintenance strategies in mechanized tunneling", 20161211; 1077952576 - 1077952576, 11. Dezember 2016 (2016-12-11), Seiten 3345-3356, DOI: 10.1109/WSC. 2016.7822365 ISBN: 978-1-5090-4484-9 offenbart das Optimieren von Intervallzyklen mit Geodaten und einem theoretischen Modell, wobei für ein verlässliches Durchfahren von Intervallzyklen eine verhältnismäßig hohe Schwelle für eine Reststandzeit von Abbauwerkzeugen veranschlagt und ein Vollaustausch von Abbauwerkzeugen vorgesehen ist.

[0004] F Köppl ET AL: "Cutting tool wear prognosis and management of wear-related risks for Mix-Shield TBM in soft ground", Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, September 2-6 2013, 6. September 2013 (2013-09-06), Seiten 1739-1742, offenbart eine Prognose eines Werkzeugverschleiß aufgrund empirischer Daten aus früheren Vortrieben, um aktuelle Wartungsintervalle mit einem Vollaustausch von Abbauwerkzeugen zu bestimmen.

[0005] Yao-Tung Leng: "Review of Cutter Wear-Consumption and Specification. Used in the Hsueshan Tunnel TBM Excavation", 2005 World Long Tunnels, 10. November 2005 (2005-11-10), Seiten 347-354, Taipei offenbart eine effiziente Verwendung von Abbauwerkzeugen durch eine Weiterverwendung von radial außenseitig eines Schneidrads angeordneten Abbauwerkzeugen auf radial innenseitig liegende Spuren.

[0006] Aus EP 2 578 797 A1 ist ein Verfahren zum Verwalten von Bohrgestängen, Bohrwerkzeugen, Bohrloch-Verrohrungen und dergleichen für Erdbohrungen bekannt, bei dem in einem elektronischen Datenverarbeitungssystem Informationen über den Bestand und den aktuellen Ablageort von in ein Bohrloch einzubringenden Teilen sowie Informationen über die Einbauposition und/oder Einbaureihenfolge von allen in das Bohr-

loch eingebrachten Teilen gespeichert werden. Dadurch lässt sich eine automatische Lager-, Zuführ- und Rücklager-Einrichtung effizient steuern.

[0007] Aus JPH10140981A ist ein Verfahren zum Detektieren des Verschleißes von Schneidrollen für Abbauwerkzeuge einer Tunnelbohrmaschine bekannt, um eine relativ hohe Betriebszuverlässigkeit der Tunnelbohrmaschine zu erzielen.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Tunnelbohrmaschine der eingangs genannten Art und ein Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels anzugeben, die sich auch bei wechselnder Geologie durch ein hinreichend verlässliches Einhalten von auf einen maximalen Verschleiß von Abbauwerkzeugen ausgelegten Werkzeugwechselintervallen auszeichnen.

[0009] Diese Aufgabe wird bei einer Tunnelbohrmaschine der eingangs genannten Art erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0010] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst.

[0011] Dadurch, dass bei der erfindungsgemäßen Tunnelbohrmaschine und bei dem Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels zum Bestimmen des aktuellen Zustands von Abbauwerkzeugen, nämlich insbesondere den Betriebszustand, charakterisiert beispielsweise durch eine Temperatur oder bei mit Schneidrollen ausgestatteten Abbauwerkzeugen den Drehzustand der Schneidrollen, und/oder den Verschleißzustand, charakterisiert beispielsweise durch eine verbleibende Reststärke eines Abbauwerkzeugs, Abbauwerkzeugdaten abbauwerkzeugspezifisch erfasst und zusammen mit Geodaten zu der aufzufahrenden Vortriebsstrecke mittels einer Vortriebsplanungseinheit dahingehend verarbeitet werden, dass mit den für den aktuellen bestimmten Vortriebsparametern Werkzeugwechselprognoseebenen mit entweder an einer Werkzeugwechselprognoseebene weitgehend oder bevorzugt zumindest teilweise vollständig verschlissenen und damit auszutauschenden Abbauwerkzeugen oder mit lediglich teilverschlissenen, nach einem Wechsel der Abbauwerkzeugposition für das Erreichen der nächsten Werkzeugwechselprognoseebene aber noch tauglichen Abbauwerkzeugen erreicht werden, ergibt sich bei relativ günstigen Betriebskosten eine verhältnismäßig hohe Zuverlässigkeit.

[0012] Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0013] Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung mit Bezug auf die Figuren der Zeichnung.

[0014] Es zeigen:

Fig. 1 in einer Seitenansicht in einer vereinfachten Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Tunnelbohrmaschine gemäß der Erfindung,

- Fig. 2 in einer Schnittansicht beispielhaft ein mit einer Schneidrolle ausgebildetes Abbauwerkzeug für eine Tunnelbohrmaschine gemäß der Erfindung, bei dem eine Sensoreinheit ein Lastdetektionsmodul aufweist,
- Fig. 3 in einer Draufsicht das Abbauwerkzeug gemäß Fig. 2 mit einem Verschleißzustandsdetektionsmodul der Sensoreinheit,
- Fig. 4 in einer perspektivischen Ansicht beispielhaft ein mit einer Schneidrolle ausgebildetes Abbauwerkzeug für eine Tunnelbohrmaschine gemäß der Erfindung, bei dem eine Sensoreinheit mit einem Drehzustandsdetektionsmodul ausgebildet ist,
- Fig. 5 in einem Blockschaubild beispielhaft eine Datenverarbeitungseinrichtung für eine Tunnelbohrmaschine gemäß der Erfindung, die mit einer Vortriebsplanungseinheit ausgestattet ist, und
- Fig. 6 in einer Seitenansicht in einer sehr vereinfachten Darstellung das Ausführungsbeispiel einer Tunnelbohrmaschine gemäß der Erfindung nach Fig. 1 beim Auffahren einer Vortriebsstrecke in einer Geologie mit in Vortriebsrichtung wechselnden Verhältnissen und angedeuteten Werkzeugwechselprognoseebenen.

[0015] Fig. 1 zeigt in einer Seitenansicht in einer vereinfachten Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung, die mit einem drehbaren Schneidrad 106 ausgestattet ist. An dem Schneidrad 106 ist eine Anzahl von Abbauwerkzeugen 109 angebracht, wobei bei diesem Ausführungsbeispiel jedes dargestellte Abbauwerkzeug 109 zum Auffahren einer Vortriebsstrecke 112 in anstehender Geologie 115 für den Abbau von Material an einer in Vortriebsrichtung vor dem Schneidrad 106 liegenden Ortsbrust 118 mit einer Schneidrolle 121 ausgestattet ist.

[0016] Jedem Abbauwerkzeug 109 gemäß der Erfindung ist eine Sensoreinheit 124 zugeordnet, die dazu eingerichtet ist, mittels eines in Fig. 1 nicht dargestellten Temperaturdetektionsmoduls die Temperatur und/oder den Zustand des betreffenden Abbauwerkzeugs 109, beispielsweise den Verschleißzustand und/oder den Drehzustand der Schneidrolle 121 des Abbauwerkzeugs 109, in Gestalt von zugeordneten Abbauwerkzeugdaten zu erfassen. Die Sensoreinheiten 124 stehen beispielsweise über einen Kabelbaum 127 und/oder über eine drahtlose Signalstrecke mit einem Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 in Verbindung, der für jede Sensoreinheit 124 einen Abbauwerkzeugdatenspeicherbereich 133 aufweist. In jedem Abbauwerkzeugdatenspeicherbereich 133 ist für das zugeordnete Abbauwerkzeug 109 der aktuelle Zustand und zweckmäßigerweise

auch die Zustandshistorie über einen bestimmten Zeitraum erfassbar.

[0017] Weiterhin ist das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 mit einem Drehzahlgeber 136 ausgebildet, mit dem durch einen Schneidradantrieb 139 über ein Schneidradgetriebe 142 eine dem Schneidrad 106 aufgeprägte Drehzahl erfassbar ist. Der Drehzahlgeber 136 steht über eine Kabelverbindung 145 und/oder über eine drahtlose Signalstrecke mit einem Vortriebsmessdatenspeicher 148 in Verbindung, mit dem die aktuelle Drehzahl und zweckmäßigerweise auch die Drehzahlhistorie über einen bestimmten Zeitraum erfassbar ist.

[0018] Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist weiterhin ein Drehmomentgeber 151 vorhanden, der mit dem Schneidradantrieb 139 in Wirkverbindung steht und mit dem das Drehmoment erfassbar ist, mit dem das Schneidrad 106 beaufschlagt ist. Der Drehmomentgeber 151 steht über eine weitere Kabelverbindung 154 und/oder über eine drahtlose Signalstrecke mit dem Vortriebsmessdatenspeicher 148 in Verbindung, mit dem weiterhin das aktuelle Drehmoment und zweckmäßigerweise auch die Drehmomenthistorie über einen bestimmten Zeitraum erfassbar ist.

[0019] Weiterhin verfügt das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 zur Datenerfassung der Verhältnisse in einer Abbaukammer 157 über einen in der Abbaukammer 157 angeordneten Abbaukammerdruckgeber 160, der über eine weitere Kabelverbindung 163 und/oder über eine drahtlose Signalstrecke mit dem Vortriebsmessdatenspeicher 148 in Verbindung steht, mit dem weiterhin der aktuelle Druck und zweckmäßigerweise auch die Druckhistorie über einen bestimmten Zeitraum erfassbar ist.

[0020] Der Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 und der Vortriebsmessdatenspeicher 148 stehen mit einer in Fig. 1 nicht dargestellten, weiter unten näher erläuterten Datenverarbeitungseinrichtung kabellos oder kabelgebunden in Verbindung.

[0021] Schließlich sind in der vereinfachten Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung aus Gründen der Anschaulichkeit noch Paare von Vortriebspresen 166 dargestellt, die in einem Pressenlagerring 169 gehalten sind und die sich beim Auffahren einer Vortriebsstrecke 112 an zum Auskleiden eines Tunnels vorgesehenen Tübbing 172 abstützen, um das Schneidrad 106 gegen die Ortsbrust 118 anzudrücken.

[0022] Fig. 2 zeigt in einer Schnittansicht beispielhaft ein mit einer Schneidrolle 121 ausgebildetes Abbauwerkzeug 109 für eine Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung. Das Abbauwerkzeug 109 ist mit einem Schneidrollengehäuse 203 ausgestattet, mittels dem über eine Anordnung beidseitig der Schneidrolle 121 aus einem über eine Spannschraube 206, die sich an einem Widerlagerstück 209 abstützt, verspannbaren Klemmkeil 212 und aus einem Lagerblock 215, der durch Verbindungsschrauben 218 mit einem C-artig ausgebildeten Klemmelement 221, das mit einem Sensorgehäuse 222 ausgebildet ist, in Verbindung steht, eine Schneidrollen-

achse 224 endseitig verdrehsicher fixierbar ist.

[0023] Das Sensorgehäuse 222 nimmt eine Ausführung einer Sensoreinheit 227 auf, die insbesondere mit einem Lastsensor 230 und mit einem Lastsender 233 als Komponenten eines Lastdetektionsmoduls 236 ausgestattet ist. Mit dem beispielsweise über eine mechanische Verformung eines Dehnmessstreifens oder einer Dehnmesshülse arbeitenden Lastsensor 230 ist die auf die Schneidrollenachse 224 einwirkende mechanische Last erfassbar. Die von dem Lastsensor 230 aufgenommenen Daten sind über den Lastsender 233 dem Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 kabellos oder wenigstens teilweise kabelgebunden einspeisbar.

[0024] Fig. 3 zeigt in einer Draufsicht das Abbauwerkzeug 109 gemäß Fig. 2 mit der Sensoreinheit 227, die zusätzlich oder alternativ zu dem Lastdetektionsmodul 236 mit einem Verschleißzustandsdetektionsmodul 303 ausgebildet ist. Mit dem Verschleißzustandsdetektionsmodul 303 ist beispielsweise über das Messen eines Abstandes zu einer Schneidkante 306 der Schneidrolle 121 als erhabensten und damit für den Abnutzungsgrad der Schneidrolle 121 charakteristischen Bereich mittels eines Abstandssensors 309 als einer Komponente des Verschleißzustandsdetektionsmoduls 303 der Verschleißzustand der Schneidrolle 121 erfassbar und über einen Abstandssender 312 als weitere Komponente des Verschleißzustandsdetektionsmodul 303 dem Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 einspeisbar.

[0025] Fig. 4 zeigt in einer perspektivischen Ansicht beispielhaft ein Abbauwerkzeug 109 für eine Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung, das den voranstehend erläuterten Abbauwerkzeugen 109 ähnelnd mit einer Schneidrolle 121 ausgestattet ist und bei dem die Sensoreinheit 227 ergänzend oder alternativ zu einem Lastdetektionsmodul 236 und/oder zu einem Verschleißzustandsdetektionsmodul 303 mit einem Drehzustandsdetektionsmodul 403 ausgebildet ist. Mit dem bei dieser Ausführung berührungsfrei arbeitenden Drehzustandsdetektionsmodul 403 ist der Drehzustand der Schneidrolle 121 insbesondere dahingehend erfassbar und dem Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 kabellos oder wenigstens teilweise kabelgebunden einspeisbar, ob sich die Schneidrolle 121 überhaupt, und wenn ja mit welcher Drehzahl, dreht.

[0026] Fig. 5 zeigt für eine Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung in einem Blockschaubild beispielhaft eine Ausführung einer Datenverarbeitungseinrichtung 503, die mit einer Vortriebsplanungseinheit 506 ausgestattet ist. An ein Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509 der Vortriebsplanungseinheit 506 sind zum einen der Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 sowie der Vortriebsmessdatenspeicher 148 und zum anderen ein Geodatenspeicher 512 angeschlossen.

[0027] In dem Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509 sind zum einen Rahmenparameter für einen aktuellen Vortrieb wie Durchmesser des Schneidrads 106 sowie charakteristische Daten für die Abbauwerkzeuge 109 wie Art, Zustand bei Einbau sowie Position nach Ein-

bau und zum anderen nach Art von sogenannten Wechselprotokollen die aus dem Abbauwerkzeugmessdatenspeicher 130 eingelesenen, mit einem Zeitstempel versehenen Abbauwerkzeugdaten abspeicherbar.

[0028] In dem Geodatenspeicher 512 sind für eine aufzufahrende Vortriebsstrecke 112 charakteristische Geodäten, die beispielsweise durch eine Vorauserkundung über die geologische Analyse von Bohrkernen gewonnen worden sind und insbesondere die Art sowie Abfolge der in Vortriebsrichtung vor der Tunnelbohrmaschine 103 erwartungsgemäß liegenden Geologie umfassen.

[0029] Das Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509 steht mit einem Datenaufarbeitungsmodul 515 und mit einem Standzeitvorhersagemodul 518 als weiteren Komponenten der Vortriebsplanungseinheit 506 in Verbindung, wobei das Datenaufarbeitungsmodul 515 und das Standzeitvorhersagemodul 518 ebenfalls miteinander in Verbindung sind. An das Datenaufarbeitungsmodul 515 sind als weitere Komponenten der Vortriebsplanungseinheit 506 zum einen ein Erfahrungswertspeicher 521, in dem Erfahrungswerte aus früheren Vortrieben in unterschiedlichen Geologien einschließlich der für einen aktuellen Vortrieb erwarteten Geologie abspeicherbar sind, und ein Korrekturparameterspeicher 524, in dem Korrekturparameterwerte zur Verwendung für einen aktuellen Vortrieb abspeicherbar sind, angeschlossen.

[0030] Weiterhin ist die Vortriebsplanungseinheit 506 mit einem Vergleichsmodul 527 ausgestattet, das zum einen mit dem Standzeitvorhersagemodul 518 und zum anderen mit einem Wartungsplanspeicher 530 der Vortriebsplanungseinheit 506, der zum Aktualisieren zu gegebenen Zeitpunkten wie insbesondere beim Erreichen von Werkzeugwechselprognoseebenen zweckmäßigerweise ebenfalls mit dem Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509 verbunden ist, einem Warn/Alarmgenerator 533 der Datenverarbeitungseinrichtung 503 und einer parallelen Anordnung eines Wechselintervallprognosemoduls 536 sowie eines Laufmeterprognosemoduls 539 der Vortriebsplanungseinheit 506 in Verbindung steht.

[0031] Die parallele Anordnung aus dem Wechselintervallprognosemodul 536 und dem Laufmeterprognosemodul 539 steht weiterhin mit einem Wechselschlagsaufarbeitungsmodul 542 der Vortriebsplanungseinheit 506 in Verbindung, welches weiterhin mit einem Bedarfsabgleichmodul 545 der Datenverarbeitungseinrichtung 503 in Verbindung steht.

[0032] Bei einem Vortrieb der oben beispielhaft in ihren wichtigsten Komponenten erläuterten Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung zum Auffahren einer Vortriebsstrecke 112 arbeitet die Datenverarbeitungseinrichtung 503 im Wesentlichen wie nachfolgend erläutert.

[0033] Mit dem Datenaufarbeitungsmodul 515 sind die Daten aus dem Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509, dem Erfahrungswertspeicher 521 und dem Korrekturparameterspeicher 524 derart aufarbeitbar, dass mit dem Standzeitvorhersagemodul 518 dem Vergleichsmodul 527 einspeisbare, sehr realitätsnahe Soll-Daten als

somit sehr verlässliche Quasi-Ist-Daten auf der Grundlage der aktuellen Abbauwerkzeugdaten und einem angenommenen Verlauf der zukünftigen Phasen des Vortriebs die voraussichtlich verbleibende Standzeit der Abbauwerkzeuge 109 bestimmbar sind.

[0034] Mit dem Vergleichsmodul 527 sind die Quasi-Ist-Daten gemäß realitätsnahe Vorbestimmen aus dem Standzeitvorhersagemodul 518 mit der jeweiligen Vortriebsstelle zugeordneten Soll-Daten gemäß Interpolationsprognosen zwischen Werkzeugwechselprognoseebenen aus dem Wartungsplanspeicher 530 dahingehend vergleichbar, dass zum einen bei nicht tolerablen, auch durch weiter unten näher erläuterte Korrekturmaßnahmen von Vortriebsparametern nicht behebbare Abweichungen über den Warn/Alarmgenerator 533 ein Sofortalarm ausgebbar ist und zum anderen bei noch tolerablen Abweichungen in einem automatisierten Selbstlernmodus dem Korrekturparameterspeicher 524 einspeisbare Korrekturdaten generierbar sind, mit denen über den Korrekturparameterspeicher 524 und das Datenaufarbeitungsmodul 515 mit dem Standzeitvorhersagemodul 518 neue Quasi-Ist-Daten erzeugbar sind, die zu einer geringeren Abweichung der Quasi-Ist-Daten zu den Soll-Daten führen.

[0035] Mit dem Wechselintervallprognosemodul 536 und dem Laufmeterprognosemodul 539 sind auf der Grundlage von Ausgangsdaten des Vergleichsmoduls 527 zum einen Vorschläge für ein Einplanen von Wechselintervallen zum Positionswechsel an eine neue Abbauwerkzeugposition beziehungsweise Austausch von Abbauwerkzeugen 109 gegen neue Abbauwerkzeuge 109 bei bestimmten vorhergesagten Laufmetern erzeugbar und dem Wechselvorschlagsaufarbeitungsmodul 542 einspeisbar, mit dem konkrete Anweisungen für bei wenigstens der nächsten Werkzeugwechselprognoseebene durchzuführende Arbeiten erzeugbar und anzeigbar sind.

[0036] Weiterhin lassen sich mit dem Wechselintervallprognosemodul 536 Vorschlagsdaten dahingehend erzeugen, dass Vortriebsparameter der Tunnelvortriebsmaschine 103 wie die Drehzahl des Schneidrads 106 und/oder das das Schneidrad 106 beaufschlagende Drehmoment dahingehend angepasst werden, dass insbesondere auch bei sich gegenüber den Geodaten abweichenden Verhältnissen in der zu durchfahrenden Geologie zumindest die nächste Werkzeugwechselprognoseebene vorzugsweise mit in dem Sinne optimal verschlissenen Abbauwerkzeugen 109 erreicht wird, dass an der nächsten Werkzeugwechselprognoseebene Abbauwerkzeuge 109 aufgrund vollständigen Verschleißes ausgetauscht werden und noch nicht vollständig verschlissene Abbauwerkzeuge 109 an jeweils neuen Abbauwerkzeugpositionen so eingebaut werden, dass nach derartigen Positionswechseln nur teilweise verschlissene Abbauwerkzeuge 109 bis zum vollständigen Verschleiß zumindest die übernächste Werkzeugwechselprognoseebene erreichen.

[0037] Durch die Verbindung des Wechselvor-

schlagsaufarbeitungsmoduls 542 mit dem Bedarfsabgleichmodul 545 lässt sich weiterhin der voraussichtliche zukünftige Bedarf von Abbauwerkzeugen 109 an Werkzeugwechselprognoseebenen abschätzen und bei Unterschreiten des Bestandes an verfügbaren neuen Abbauwerkzeugen 109 zum Austausch mit vollständig verschlissenen Abbauwerkzeugen 109 über den Warn/Alarmgenerator 533 eine Warnmeldung zum Erhöhen des Bestandes an neuen Abbauwerkzeugen 109 bis zur nächsten Werkzeugwechselprognoseebene auslösen.

[0038] Bei Erreichen von Werkzeugwechselprognoseebenen ist es zweckmäßig, über das Werkzeugbewirtschaftungszentralmodul 509 den Wartungsplanspeicher 530 dahingehend zu aktualisieren, dass nach Wechsel und/oder Austausch von Abbauwerkzeugen 109 dem Wartungsplanspeicher 530 die dann tatsächliche Bestückung des Schneidrads 106 mit Abbauwerkzeugen 109 in dem jeweiligen Zustand an den entsprechenden Abbauwerkzeugpositionen einspeicherbar ist.

[0039] Fig. 6 zeigt in einer Seitenansicht in einer sehr vereinfachten Darstellung das Ausführungsbeispiel einer Tunnelbohrmaschine 103 gemäß der Erfindung nach Fig. 1 beim Auffahren einer Vortriebsstrecke 112 unterhalb einer Erdoberfläche in anstehender Geologie 115 mit in Vortriebsrichtung wechselnden Verhältnissen, symbolisch dargestellt durch mit unterschiedlichen Symbolen befüllte Vortriebsabschnitte 603, 606, 609 und mit senkrecht ausgerichteten, durch gestrichelte Linien angedeutete Werkzeugwechselprognoseebenen 615, 618, 621, 624, 627, 630, wie sie durch die Vortriebsplanungseinheit 506 zu dem Stand des Vortriebs in der Darstellung gemäß Fig. 6 vorbestimmt worden sind.

[0040] Aus der Darstellung gemäß Fig. 6 ist ersichtlich, dass die Werkzeugwechselprognoseebenen 615, 618, 621, 624, 627, 630 in bezüglich der Geologie unterschiedlichen harten Vortriebsabschnitten 603, 606, 609 unterschiedlich beabstandet sind, so dass gemäß der Erfindung, wie weiter oben näher erläutert, die Zeitpunkte für einen Wechsel und/oder Austausch von Abbauwerkzeugen 109 relativ genau einplanbar sind. Dadurch erhöht sich die Wirtschaftlichkeit des Vortriebs gegenüber auf Erfahrungswerten basierenden Schätzungen erheblich.

Patentansprüche

1. Tunnelbohrmaschine mit einem drehbaren Schneidrad (106), mit einer Anzahl von Abbauwerkzeugen (109), die an bestimmten Abbauwerkzeugpositionen an dem Schneidrad (106) angebracht sind, mit einer Anzahl von Sensoreinheiten (124), wobei eine Sensoreinheit (124) jeweils einem Abbauwerkzeug (109) zugeordnet und dazu eingerichtet ist, den Zustand des betreffenden Abbauwerkzeugs (109) in Gestalt von zugeordneten Abbauwerkzeugdaten zu erfassen, und mit einer Datenverarbeitungseinrich-

- tung (503), die mit den Sensoreinheiten (124) in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede Sensoreinheit (124) ein Abbauwerkzeugdaten-speicherbereich (133) eines Abbauwerkzeugmess-datenspeichers (130) vorhanden ist, in den die ei-
 nem bestimmten Abbauwerkzeug (109) zugeord-
 neten Abbauwerkzeugdaten aus der dem betreffenden
 Abbauwerkzeug (109) zugeordneten Sensoreinheit
 (124) einspeicherbar sind, dass die Datenverarbei-
 tungseinrichtung (503) einen Geodatenspeicher
 (512) aufweist, in dem für eine in einer Vortriebsrich-
 tung aufzufahrende Vortriebsstrecke (112) für die zu
 durchfahrende Geologie (115) charakteristische Ge-
 odaten abspeicherbar sind, dass die Datenverarbei-
 tungseinrichtung (503) eine Vortriebsplanungsein-
 heit (506) mit einem Werkzeugbewirtschaftungszen-
 tralmodul (509) aufweist, an das der Abbauwerk-
 zeugmessdatenspeicher (130), ein Vortriebsmess-
 datenspeicher (148) sowie der Geodatenspeicher
 (512) angeschlossen und mit dem Rahmenparame-
 ter für einen aktuellen Vortrieb sowie charakteristi-
 sche Daten für die Abbauwerkzeuge (109) ab-
 speicherbar sind, wobei mit der Vortriebsplanungs-
 einheit (506) auf der Grundlage der Geodaten und
 der Abbauwerkzeugdaten Vortriebsparameter so-
 wie die Abbauwerkzeugpositionen von Abbauwerk-
 zeugen (109) zwischen in Vortriebsrichtung liegen-
 den Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618,
 621, 624, 627, 630) derart bestimmbar sind, dass an
 den Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618,
 621, 624, 627, 630) für Abbauwerkzeuge (109), die
 nur an einer anderen Abbauwerkzeugposition die
 nächste Werkzeugwechselprognoseebene (615,
 618, 621, 624, 627, 630) in einem funktionsfähigen
 Zustand erreichen, ein Positionswechsel an die oder
 eine andere Abbauwerkzeugposition erfolgt, und für
 Abbauwerkzeuge (109), die an keiner Abbauwerk-
 zeugposition mehr die nächste Werkzeugwechsel-
 prognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) in
 einem funktionsfähigen Zustand erreichen, ein Aus-
 tausch gegen ein neu zu verbauendes Abbauwerk-
 zeug (109) erfolgt.
2. Tunnelbohrmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einer Werkzeugwechsel-
 prognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) aus-
 zutauschende Abbauwerkzeuge (109) vollständig
 verschlissen sind.
 3. Tunnelbohrmaschine nach Anspruch 1 oder An-
 spruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigst-
 ens eine Sensoreinheit (124) ein Verschleißzu-
 standsdetektionsmodul (303) aufweist, mit dem der
 Verschleißzustand des der Sensoreinheit (124) zu-
 geordneten Abbauwerkzeugs (109) erfassbar ist.
 4. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1
 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens
 eine Sensoreinheit (124) ein Temperaturdetektions-
 modul aufweist, mit dem die Temperatur des der
 Sensoreinheit (124) zugeordneten Abbauwerk-
 zeugs (109) erfassbar ist.
 5. Tunnelbohrmaschine nach Anspruch 1 bis 4, **da-
 durch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Sen-
 soreinheit (124) ein Lastdetektionsmodul (236) auf-
 weist, mit dem die auf das der Sensoreinheit (124)
 zugeordnete Abbauwerkzeug (109) ausgeübte me-
 chanische Last erfassbar ist.
 6. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1
 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Anzahl
 von Abbauwerkzeugen (109) mit drehbaren Schnei-
 drollen (121) ausgebildet sind.
 7. Tunnelbohrmaschine nach Anspruch 6, **dadurch
 gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Sensorein-
 heit (124) ein Drehzustandsdetektionsmodul (403)
 aufweist, mit dem der Drehzustand der der Sensor-
 einheit (124) zugeordneten Schneidrolle (121) er-
 fassbar ist.
 8. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1
 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Dreh-
 zahlgeber (136) vorhanden ist, mit dem die Drehzahl
 des Schneidrads (106) erfassbar ist, dass der Dreh-
 zahlgeber (136) mit der Datenverarbeitungseinrich-
 tung (503) in Verbindung steht, dass die erfasste
 Drehzahl der Vortriebsplanungseinheit (506) ein-
 speisbar ist und dass die Vortriebsplanungseinheit
 (506) die Drehzahl des Schneidrads (106) zum Vor-
 bestimmen eines Positionswechsels und/oder Aus-
 tauschs von Abbauwerkzeugen (109) einbezieht.
 9. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1
 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Drehmo-
 mentgeber (151) vorhanden ist, mit dem das Dreh-
 moment erfassbar ist, mit dem das Schneidrad (106)
 beaufschlagt ist, dass der Drehmomentgeber (151)
 mit der Datenverarbeitungseinrichtung (503) in Ver-
 bindung steht, dass das erfasste Drehmoment der
 Vortriebsplanungseinheit (506) einspeisbar ist und
 dass die Vortriebsplanungseinheit (506) das Dreh-
 moment des Schneidrads (106) zum Vorbestimmen
 eines Positionswechsels und/oder Austausch von
 Abbauwerkzeugen (109) einbezieht.
 10. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1
 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vor-
 triebsplanungseinheit (506) mit einem Erfahrungs-
 wertspeicher (521) ausgestattet ist, in dem Erfah-
 rungswerte für den Verschleiß von Abbauwerkzeug-
 en (109) bei Auffahren einer Vortriebsstrecke (112)
 in der Geologie (115) abspeicherbar sind und dass
 die Vortriebsplanungseinheit (506) die Erfahrungs-
 werte zum Vorbestimmen des Positionswechsels

und/oder Austauschs von Abbauwerkzeugen (109) einbezieht.

11. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vortriebsplanungseinheit (506) mit einem Vergleichsmodul (527) ausgestattet ist, mit dem ein Quasi-Ist-Zustand gemäß realitätsnahem Vorbestimmen des Verschleiß von Abbauwerkzeugen (109) mit dem Soll-Zustand gemäß Interpolationsprognose zwischen Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618, 621, 624, 627, 630) vergleichbar ist, und dass die Vortriebsplanungseinheit (506) einen Korrekturparameterspeicher (524) aufweist, in dem aus dem Vergleich des Quasi-Ist-Zustands mit dem Soll-Zustand abgeleitete Korrekturparameter abspeicherbar sind, die die Vortriebsplanungseinheit (506) zum Vorbestimmen des Positionswechsels und/oder Austauschs von Abbauwerkzeugen (109) einbezieht.
12. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Datenverarbeitungseinrichtung (503) einen Warn/Alarmgenerator (533) aufweist, der mit der Vortriebsplanungseinheit (506) in Verbindung steht und mit dem Warnmeldungen und/oder Alarmmeldungen bei zum Erreichen einer Werkzeugwechselprognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) gemäß Interpolationsprognose zwischen Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618, 621, 624, 627, 630) kritischen und/oder intolerablen Betriebszuständen und/oder Verschleißzuständen von Abbauwerkzeugen (109) ausgebbar sind.
13. Tunnelbohrmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Datenverarbeitungseinrichtung (503) mit einem Bedarfsabgleichmodul (545) ausgestattet ist, mit dem der Bedarf an neuen Abbauwerkzeugen (109) zum Austausch bei Erreichen zumindest der nächsten Werkzeugwechselprognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) bestimmbar ist.
14. Verfahren zum Vortreiben eines Tunnels mit den Schritten
- Bereitstellen einer Tunnelbohrmaschine (103) nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
 - Abspeichern von für die in einer Vortriebsrichtung aufzufahrende Vortriebsstrecke (112) für die zu durchfahrende Geologie (115) charakteristischen Geodaten in dem Geodatenspeicher (512),
 - auf der Grundlage der Geodaten und von Abbauwerkzeugdaten Bestimmen von Vortriebsparametern und Abbauwerkzeugpositionen von Abbauwerkzeugen (109) zwischen in Vor-

triebsrichtung liegenden Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618, 621, 624, 627, 630) mit der Vortriebsplanungseinheit (506) derart, dass an den Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618, 621, 624, 627, 630) für Abbauwerkzeuge (109), die nur an einer anderen Abbauwerkzeugposition die nächste Werkzeugwechselprognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) in einem funktionsfähigen Zustand erreichen, ein Positionswechsel an die oder eine andere Abbauwerkzeugposition erfolgt, und für Abbauwerkzeuge (109), die an keiner Abbauwerkzeugposition mehr die nächste Werkzeugwechselprognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) in einem funktionsfähigen Zustand erreichen, ein Austausch gegen ein neu zu verbauendes Abbauwerkzeug (109) erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vortriebsparameter und die Werkzeugwechselprognoseebenen (615, 618, 621, 624, 627, 630) so gewählt werden, dass an einer Werkzeugwechselprognoseebene (615, 618, 621, 624, 627, 630) auszutauschende Abbauwerkzeuge (109) vollständig verschlissen sind.

Claims

1. Tunnel boring machine comprising a rotatable cutting wheel (106), comprising a number of excavation tools (109) which are attached at specific excavation tool positions on the cutting wheel (106), comprising a number of sensor units (124), wherein one sensor unit (124) is assigned to one excavation tool (109) in each case and is configured to detect the state of the relevant excavation tool (109) in the form of assigned excavation tool data, and comprising a data processing apparatus (503) which is connected to the sensor units (124), **characterised in that** one excavation tool data memory region (133) of an excavation tool measurement data memory (130) is provided for each sensor unit (124), into which memory region the excavation tool data assigned to a specific excavation tool (109) can be read from the sensor unit (124) assigned to the relevant excavation tool (109), **in that** the data processing apparatus (503) comprises a geodata memory (512) in which geodata characteristic of the geology (115) to be traversed for a tunnelling route (112) to be driven in a tunnelling direction can be stored, **in that** the data processing apparatus (503) comprises a tunnelling planning unit (506) having a central tool management module (509) to which the excavation tool measurement data memory (130), a tunnelling measurement data memory (148) and the geodata memory (512) are connected and by means of which basic parameters for a current tunnelling operation

- and characteristic data for the excavation tools (109) can be stored, wherein tunnelling parameters and the excavation tool positions of excavation tools (109) between tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630) lying in the tunnelling direction can be determined by means of the tunnelling planning unit (506) on the basis of the geodata and the excavation tool data in such a way that, at the tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630), for excavation tools (109) that only reach the next tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) in a functional state at a different excavation tool position, a position change takes place to one or another excavation tool position and, for excavation tools (109) that no longer reach the next tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) in a functional state at any excavation tool position, an exchange takes place for an excavation tool (109) to be newly installed.
2. Tunnel boring machine according to claim 1, **characterised in that** excavation tools (109) to be exchanged at a tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) are completely worn.
 3. Tunnel boring machine according to claim 1 or claim 2, **characterised in that** at least one sensor unit (124) comprises a state-of-wear detection module (303) by means of which the state of wear of the excavation tool (109) assigned to the sensor unit (124) can be detected.
 4. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 3, **characterised in that** at least one sensor unit (124) comprises a temperature detection module by means of which the temperature of the excavation tool (109) assigned to the sensor unit (124) can be detected.
 5. Tunnel boring machine according to claim 1 to 4, **characterised in that** at least one sensor unit (124) comprises a load detection module (236) by means of which the mechanical load exerted on the excavation tool (109) assigned to the sensor unit (124) can be detected.
 6. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** a number of excavation tools (109) are designed having rotatable cutting rollers (121).
 7. Tunnel boring machine according to claim 6, **characterised in that** at least one sensor unit (124) comprises a rotational state detection module (403) by means of which the rotational state of the cutting roller (121) assigned to the sensor unit (124) can be detected.
 8. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 7, **characterised in that** a rotational speed sensor (136) is provided, by means of which the rotational speed of the cutting wheel (106) can be detected, **in that** the rotational speed sensor (136) is connected to the data processing apparatus (503), **in that** the detected rotational speed can be fed to the tunnelling planning unit (506) and **in that** the tunnelling planning unit (506) factors in the rotational speed of the cutting wheel (106) for predetermining a position change and/or exchange of excavation tools (109).
 9. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 8, **characterised in that** a torque sensor (151) is provided, by means of which the torque applied to the cutting wheel (106) can be detected, **in that** the torque sensor (151) is connected to the data processing apparatus (503), **in that** the detected torque can be fed to the tunnelling planning unit (506) and **in that** the tunnelling planning unit (506) factors in the torque of the cutting wheel (106) for predetermining a position change and/or exchange of excavation tools (109).
 10. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 9, **characterised in that** the tunnelling planning unit (506) is equipped with an empirical value memory (521) in which empirical values for the wear of excavation tools (109) can be stored during driving of a tunnelling route (112) in the geology (115) and **in that** the tunnelling planning unit (506) factors in the empirical values for predetermining the position change and/or exchange of excavation tools (109).
 11. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 10, **characterised in that** the tunnelling planning unit (506) is equipped with a comparison module (527) by means of which a quasi-actual state according to realistic predetermination of the wear of excavation tools (109) can be compared with the target state according to an interpolation prediction between tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630), and **in that** the tunnelling planning unit (506) comprises a correction parameter memory (524) in which correction parameters derived from the comparison of the quasi-actual state with the target state can be stored, which correction parameters are factored in by the tunnelling planning unit (509) for predetermining the position change and/or exchange of excavation tools (109).
 12. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 11, **characterised in that** the data processing apparatus (503) comprises a warning/alarm generator (533) which is connected to the tunnelling planning unit (506) and by means of which warning messages and/or alarm messages can be issued in the event of critical and/or intolerable operating states and/or

states of wear of excavation tools (109) according to an interpolation prediction between tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630) when a tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) is reached.

13. Tunnel boring machine according to any of claims 1 to 12, **characterised in that** the data processing apparatus (503) is equipped with a need-checking module (545) by means of which the need for new excavation tools (109) for the exchange can be determined when at least the next tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) is reached.

14. Tunnelling method comprising the steps of

- providing a tunnel boring machine (103) according to any of claims 1 to 13,
- storing in the geodata memory (512) geodata characteristic of the geology (115) to be traversed for the tunnelling route (112) to be driven in a tunnelling direction,
- determining tunnelling parameters and excavation tool positions of excavation tools (109) between tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630) lying in the tunnelling direction by means of the tunnelling planning unit (506) on the basis of the geodata and excavation tool data in such a way that, at the tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630), for excavation tools (109) that only reach the next tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) in a functional state at a different excavation tool position, a position change takes place to one or another excavation tool position and, for excavation tools (109) that no longer reach the next tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) in a functional state at any excavation tool position, an exchange takes place for an excavation tool (109) to be newly installed.

15. Method according to claim 14, **characterised in that** the tunnelling parameters and the tool change prediction planes (615, 618, 621, 624, 627, 630) are selected such that excavation tools (109) to be exchanged at a tool change prediction plane (615, 618, 621, 624, 627, 630) are completely worn.

Revendications

1. Tunnelier avec une roue de coupe rotative (106), avec un certain nombre d'outils de taille (109), qui sont fixés à la roue de coupe (106) à certaines positions des outils de taille, avec un certain nombre d'unités de capteurs (124), une unité de capteurs (124) étant à chaque fois attribuée à un outil de cou-

pe (109) et étant configurée pour enregistrer l'état de l'outil de taille (109) correspondant sous la forme de données d'outil de taille correspondant, et avec un dispositif de traitement de données (503) qui est en lien avec les unités de capteurs (124), **caractérisé en ce que** pour chaque unité de capteurs (124) il est prévu un domaine d'une unité de stockage de données des outils de taille (133) d'une unité de stockage de données de mesures des outils de taille (130), domaine dans lequel peuvent être enregistrées les données des outils de taille correspondantes à un outil de taille déterminé (109) issues d'une unité de capteurs (124) correspondante à l'outil de taille (109) associé, **en ce que** le dispositif de traitement des données (503) présente une unité de stockage des géo-données (512), dans laquelle des géo-données caractéristiques pour la géologie (115) à traverser pour l'itinéraire de creusement (112) à parcourir dans une direction de creusement peuvent être enregistrées, **en ce que** le dispositif de traitement des données (503) présente une unité de planification de creusement (506) avec un module central de gestion des outils (509), auquel sont reliées l'unité de stockage de données de mesures des outils de taille (130), une unité de stockage de données de mesures d'avancement de creusement (148) ainsi que l'unité de stockage des géo-données (512), et avec lequel des paramètres cadres pour un creusement actuel ainsi que des données caractéristiques pour les outils de tailles (109) sont enregistrables, tunnelier pour lequel avec l'unité de planification de creusement (506), sur la base des géo-données et des données des outils de taille, des paramètres de creusement ainsi que des positions des outils de taille (109) entre des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) situés dans la direction de creusement peuvent être déterminés de telle sorte qu'au niveau des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) suivant dans un état de fonctionnement satisfaisant que dans une autre position des outils de taille, il est procédé à un changement de position vers cette position des outils de taille ou une autre position des outils de taille, et pour des outils de taille (109) qui ne vont atteindre dans aucune position des outils de taille le plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) suivant dans un état de fonctionnement satisfaisant, il est procédé à un échange contre un nouvel outil de taille (109) à installer.

2. Tunnelier selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au niveau d'un plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630), les outils de taille (109) à changer sont complètement

- usés.
3. Tunnelier selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**au moins une unité de capteurs (124) présente un module de détection de l'état d'usure (303), avec lequel l'état d'usure de l'outil de taille (109) correspondant à l'unité de capteurs (124) peut être détecté.
 4. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**au moins une unité de capteurs (124) présente un module de détection de température, avec lequel la température de l'outil de taille (109) correspondant à l'unité de capteurs (124) peut être détectée.
 5. Tunnelier selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**au moins une unité de capteurs (124) présente un module de détection de charge (236), avec lequel la charge mécanique exercée sur l'outil de taille (109) correspondant à l'unité de capteurs (124) peut être détectée.
 6. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**un certain nombre des outils de taille (109) sont formés avec des rouleaux de coupe (121) rotatifs.
 7. Tunnelier selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'**au moins une unité de capteurs (124) présente un module de détection de l'état de rotation (403), avec lequel l'état de rotation du rouleau de coupe (121) correspondant à l'unité de capteurs (124) peut être détecté.
 8. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'**il est prévu un capteur de vitesse de rotation (136), avec lequel la vitesse de rotation de la roue de coupe (106) peut être détectée, **en ce que** le capteur de vitesse de rotation (136) est relié avec le dispositif de traitement des données (503), **en ce que** la vitesse de rotation détectée peut être injectée dans l'unité de planification de creusement (506) et **en ce que** l'unité de planification de creusement (506) intègre la vitesse de rotation de la roue de coupe (106) pour la prédétermination d'un changement de position et/ou d'un échange des outils de taille (109).
 9. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**il est prévu un capteur de couple (151) avec lequel le couple qui est appliqué à la roue de coupe (106) peut être détecté, **en ce que** le capteur de couple (151) est relié avec le dispositif de traitement des données (503), **en ce que** le couple détecté peut être injecté dans l'unité de planification de creusement (506) et **en ce que** l'unité de planification de creusement (506) intègre le couple de la roue de coupe (106) pour la prédétermination d'un changement de position et/ou d'un échange des outils de taille (109).
 10. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** l'unité de planification de creusement (506) est équipée d'une unité de stockage de valeurs empiriques (521), dans laquelle des valeurs empiriques d'usure des outils de taille (109) lors de la conduite d'une trajectoire d'excavation (112) dans la géologie (115) peuvent être enregistrées, et **en ce que** l'unité de planification de creusement (506) intègre les valeurs empiriques pour la prédétermination d'un changement de position et/ou d'un échange des outils de taille (109).
 11. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** l'unité de planification de creusement (506) est équipée d'un module de comparaison (527), avec lequel on peut comparer un état quasi réel selon la prédétermination proche de la réalité de l'état d'usure des outils de taille (109) avec l'état prévu selon la prévision d'interpolation entre des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630), et **en ce que** l'unité de planification de creusement (506) présente une unité de stockage de corrections de paramètres (524), dans laquelle on peut enregistrer des paramètres de corrections déduits de la comparaison entre l'état quasi réel et l'état prévu, l'unité de planification de creusement (506) intégrant lesdits paramètres de corrections pour la prédétermination du changement de position et/ou du changement des outils de taille (109).
 12. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** le dispositif de traitement des données (503) présente un générateur d'avertissement/d'alarme (533), qui est en relation avec l'unité de planification de creusement (506) et avec lequel des signaux d'avertissements et/ou des signaux d'alertes peuvent être délivrés lors d'états de fonctionnement et/ou d'états d'usure des outils de taille (109) critiques et/ou intolérables pour l'atteinte d'un plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) selon la prévision d'interpolation entre des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630).
 13. Tunnelier selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif de traitement des données (503) est pourvu d'un module de comparaison des besoins (545), avec lequel peut être déterminé le besoin de remplacement par de nouveaux outils de taille (109) lors de l'atteinte d'au moins le plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) suivant.

14. Procédé pour le creusement d'un tunnel avec les étapes

- mise à disposition d'un tunnelier (103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, 5

- mémorisation dans l'unité de stockage des géo-données (512) de géo-données caractéristiques pour la géologie (115) à traverser pour l'itinéraire de creusement (112) à parcourir dans une direction de creusement, 10

- sur la base des géo-données et de données des outils de taille, détermination avec l'unité de planification de creusement (506) de paramètres de creusement et de positions des outils de taille (109) entre des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) situés dans la direction de creusement de telle sorte qu'au niveau des plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630), pour des outils de taille (109) qui ne vont parvenir au plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) suivant dans un état de fonctionnement satisfaisant que dans une autre position des outils de taille, il est procédé à un changement de position vers cette position des outils de taille ou une autre position des outils de taille, et pour des outils de taille (109), qui ne vont atteindre dans aucune position des outils de taille le plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) suivant dans un état de fonctionnement satisfaisant, il est procédé à un échange contre un nouvel outil de taille (109) à installer. 35

15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** les paramètres de creusement et les plans prévisionnels de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630) sont choisis de telle sorte qu'au niveau d'un plan prévisionnel de changement des outils (615, 618, 621, 624, 627, 630), les outils de taille (109) à changer sont complètement usés. 40

45

50

55

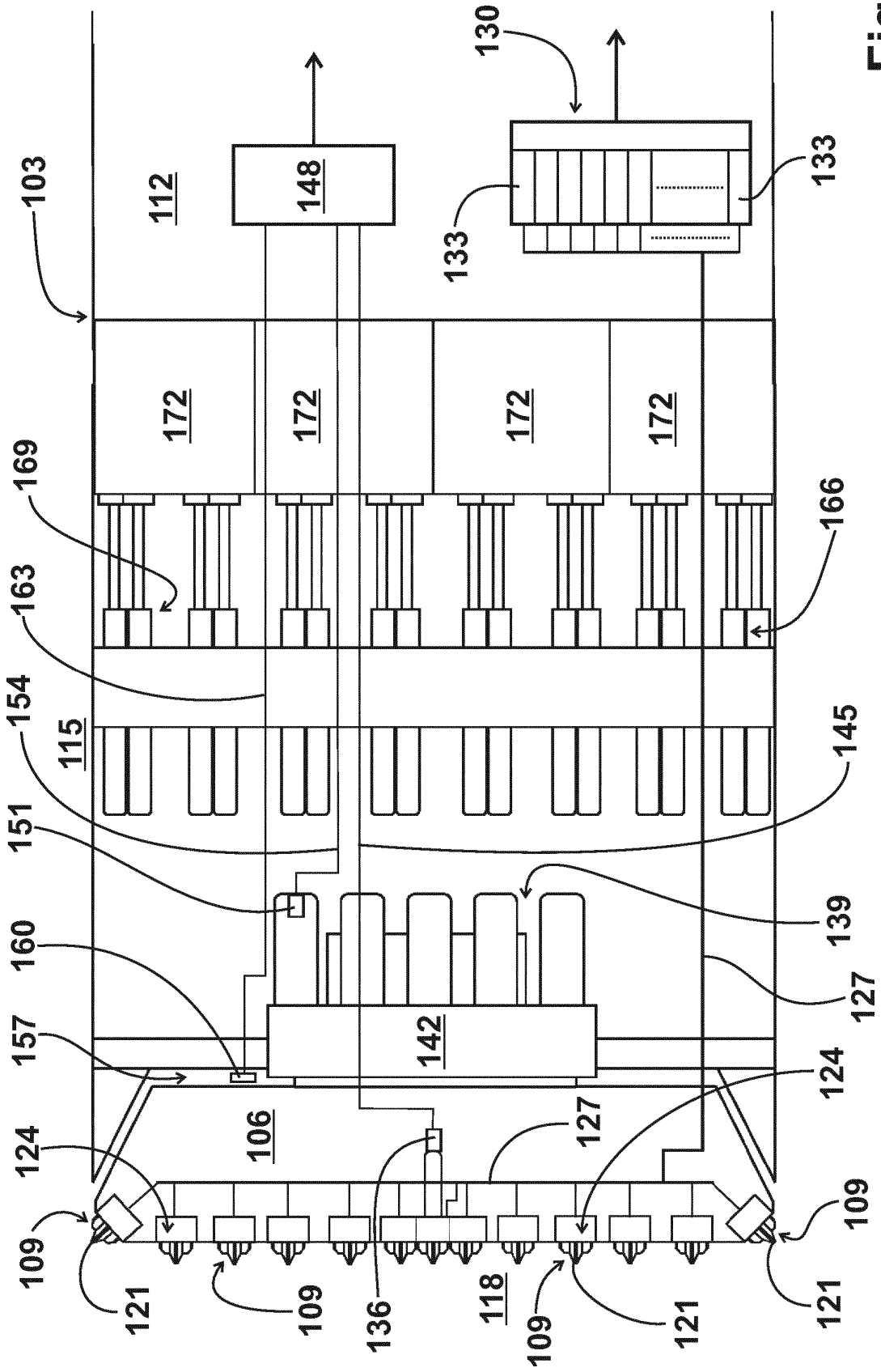


Fig. 1

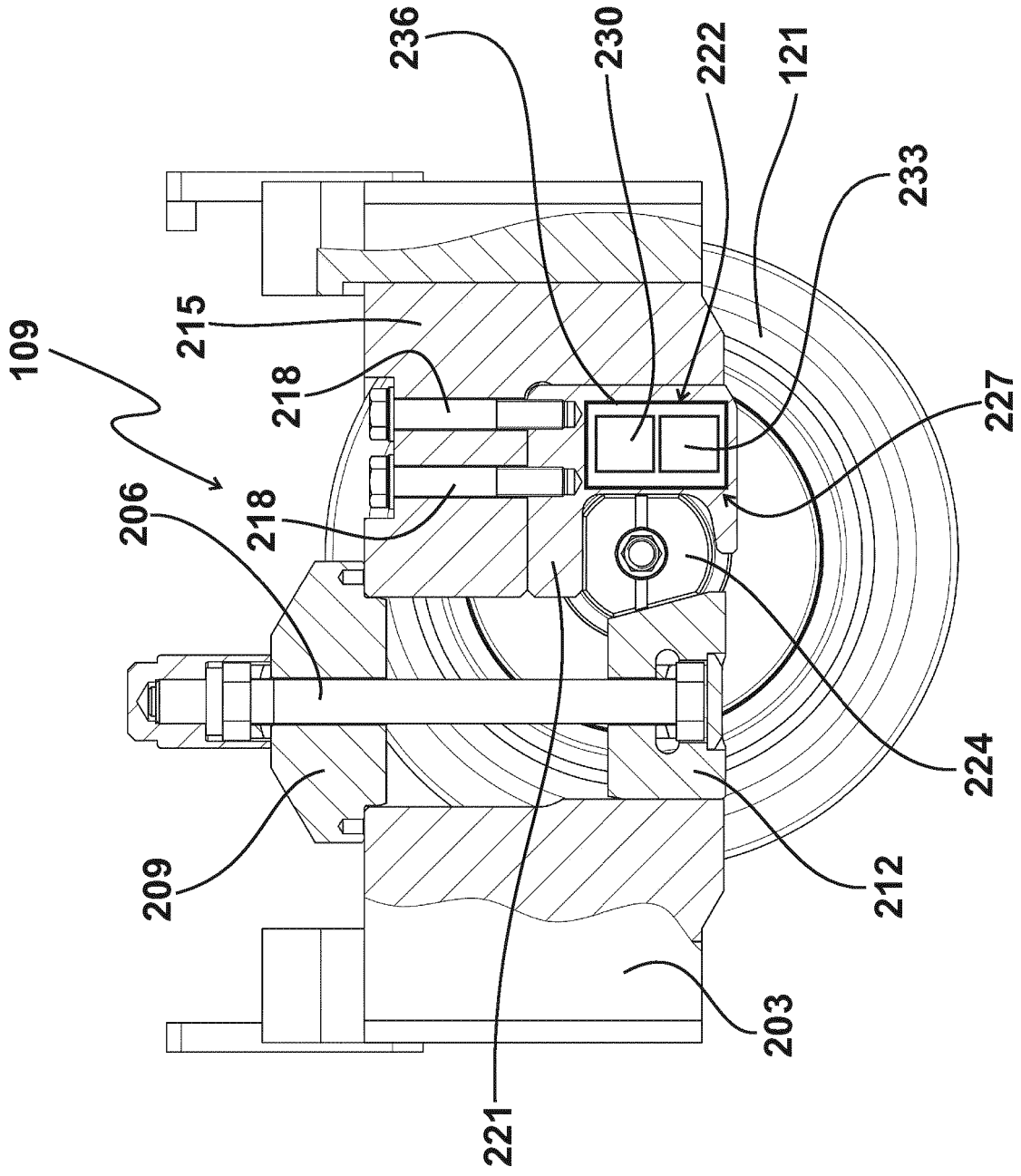


Fig. 2

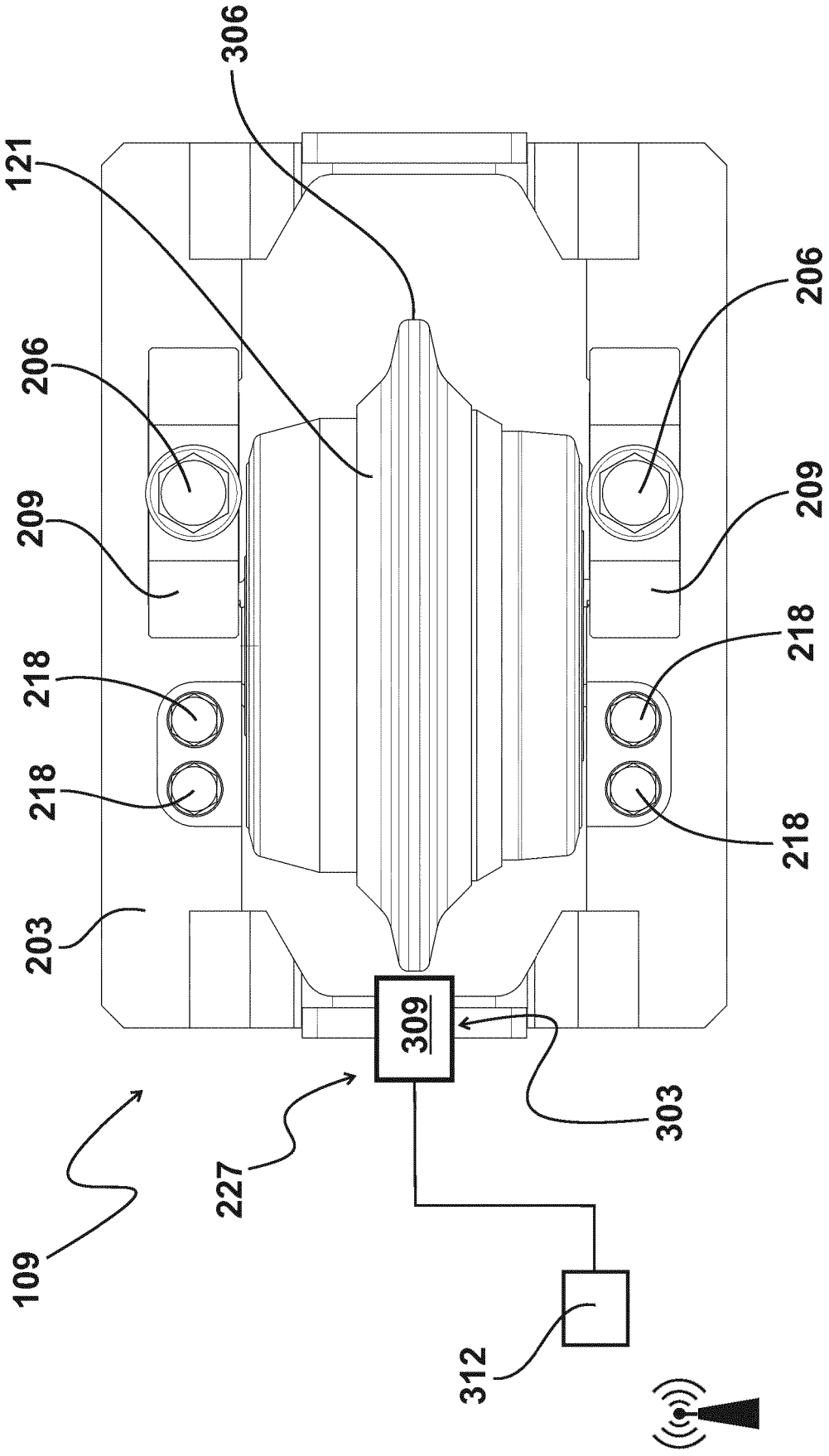


Fig. 3

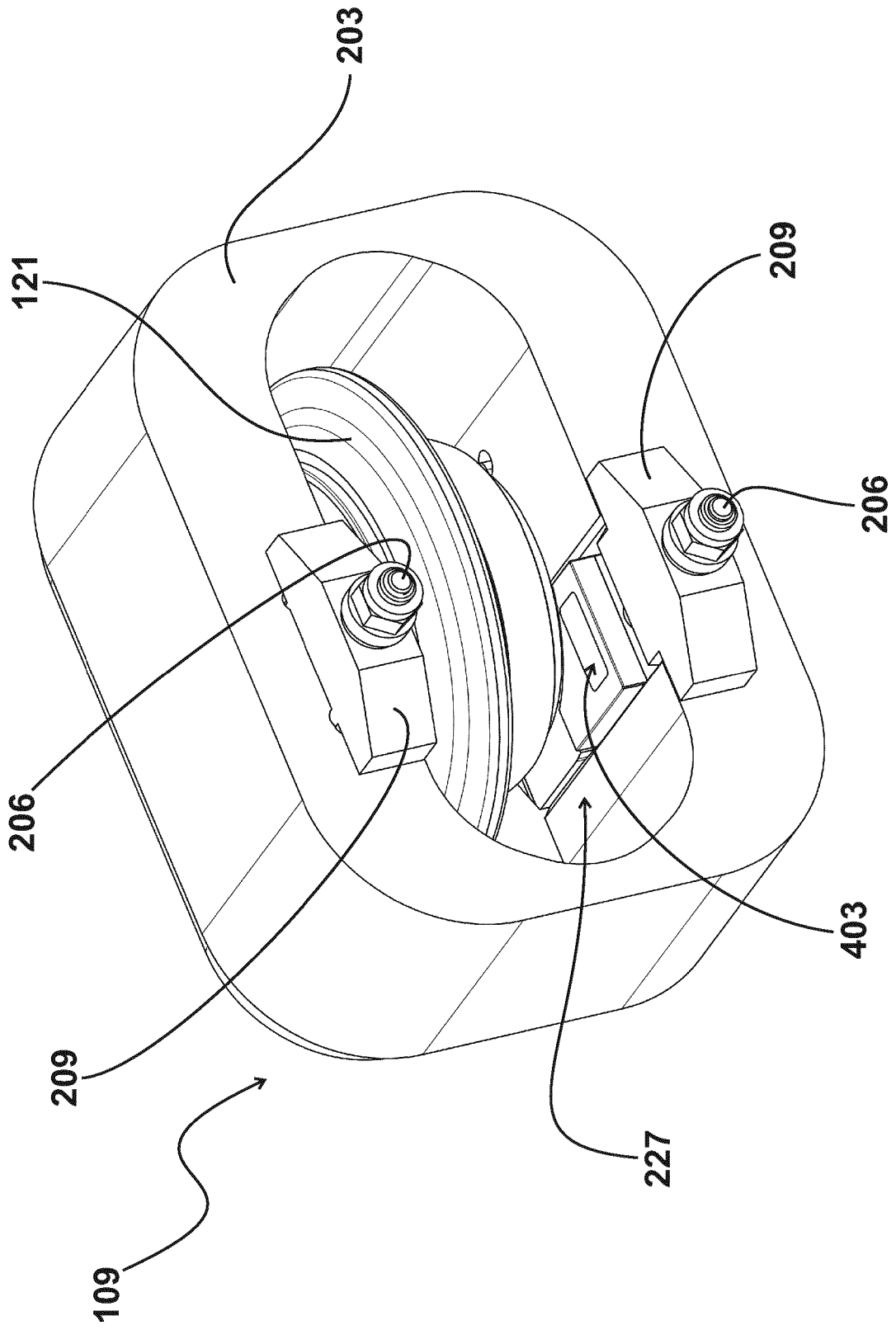


Fig. 4

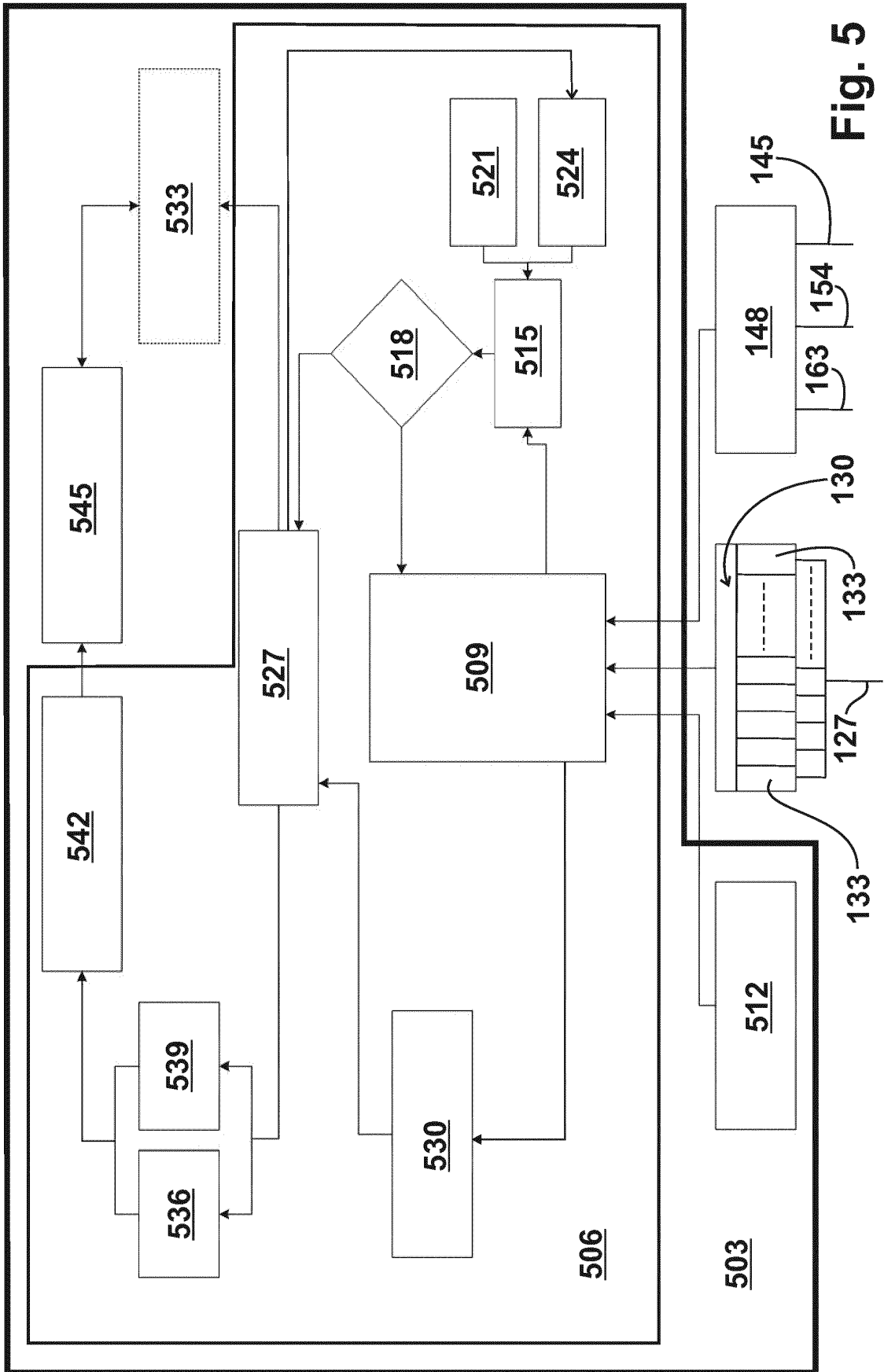


Fig. 5

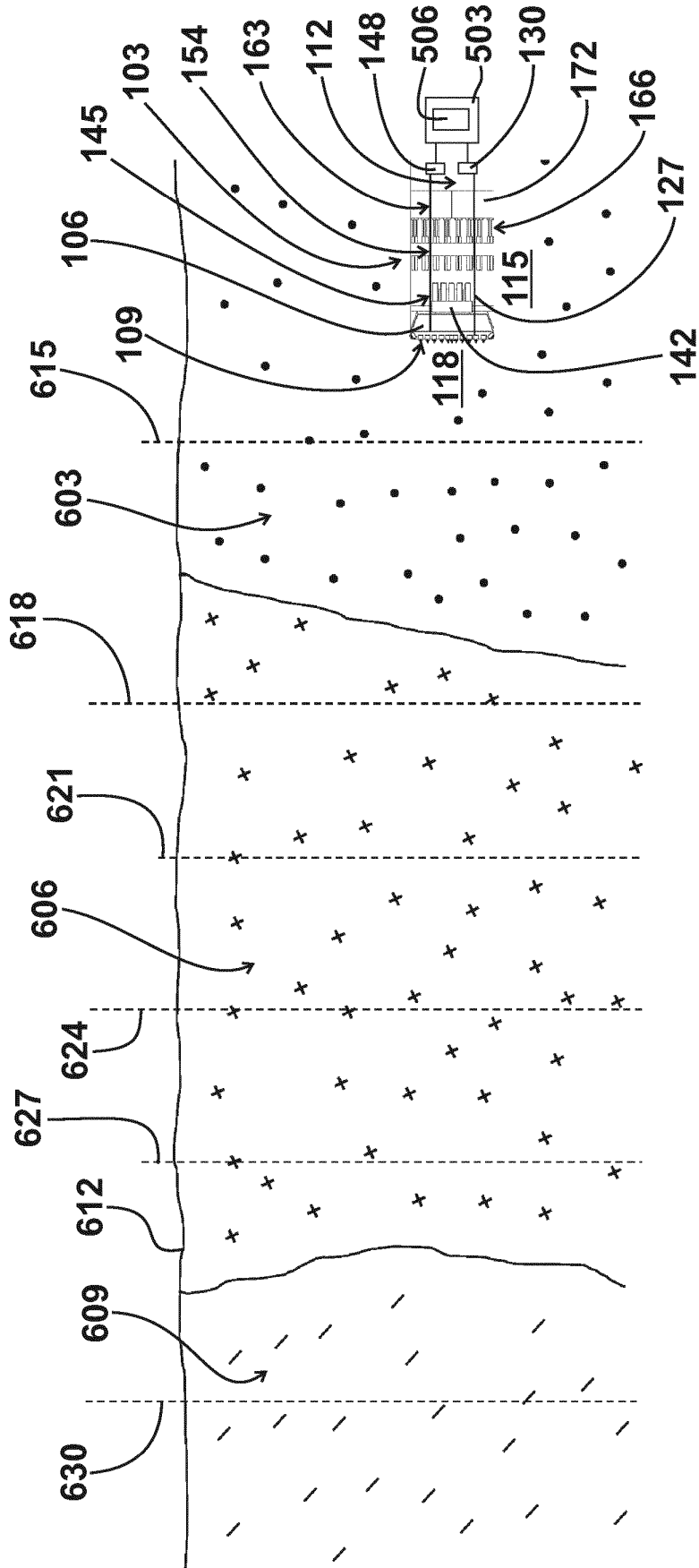


Fig. 6

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 102011114830 B3 [0003]
- EP 2578797 A1 [0006]
- JP H10140981 A [0007]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **MARKUS SCHEFFER et al.** *Simulation of maintenance strategies in mechanized tunneling*, 11. Dezember 2016, vol. 20161211, ISSN ISBN: 978-1-5090-4484-9, 1077952576-1077952576 [0003]
- **F KÖPPL et al.** Cutting tool wear prognosis and management of wear-related risks for Mix-Shield TBM in soft ground. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 02. September 2013, 1739-1742 [0004]
- **YAO-TUNG LENG.** Review of Cutter Wear-Consumption and Specification. Used in the Hsueshan Tunnel TBM Excavation. *2005 World Long Tunnels*, 10. November 2005, 347-354 [0005]