

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
12. Dezember 2013 (12.12.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/182332 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H04W 56/00* (2009.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/056552

(22) Internationales Anmeldedatum:  
27. März 2013 (27.03.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 209 655.8 8. Juni 2012 (08.06.2012) DE  
10 2013 200 845.7  
21. Januar 2013 (21.01.2013) DE

(71) Anmelder: **ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG**  
[DE/DE]; Mühlhofstr. 15, 81671 München (DE).

(72) Erfinder: **PFEIFER, Hagen**; Hofmannstr. 19, 81379  
München (DE). **GLÄSER, Gerhard**; Haus Gravener Str.  
77, 40764 Langenfeld (DE).

(74) **Anwalt: KÖRFER, Thomas**; Mitscherlich & Partner,  
Patent- und Rechtsanwälte, Sonnenstraße 33, 80331  
München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,  
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,  
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR TIME SYNCHRONIZATION IN AN AD-HOC NETWORK

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND SYSTEM ZUR ZEITSYNCHRONISIERUNG IN EINEM AD-HOC-NETZWERK

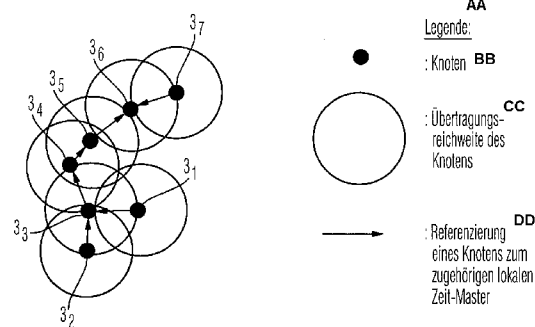


Fig. 1

AA Key  
BB Node  
CC Transmission range of the node  
DD Referencing of a node to the associated local time master

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and a system in which for time synchronization in a mobile ad-hoc network each node (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) of the mobile network sends, in a respective time slot, a message for signaling a presence (1). The received message for signaling a presence (1) is confirmed by each node (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) located within the transmission range of the node sent (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) with a respective confirmation message (2). On the basis of information of a confirmation message (2) that one of the two nodes (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) receives, that node (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) out of two nodes (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) which are located with respect to one another within the transmission range is determined, with respect to the local time of which the respective other node (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub>, 3<sub>6</sub>, 3<sub>7</sub>, 3<sub>8</sub>) synchronizes its local time.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/182332 A1



---

In einem Verfahren und in einem System zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk versendet jeder Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) des mobilen ad-hoc-Netzwerkes in jeweils einem bestimmten Zeitraster eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit (1). Die empfangene Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit (1) wird durch jeden in Übertragungsbereich des versendenden Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) befindlichen Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) mit jeweils einer Quittierungs-Nachricht (2) quittiert. Anhand von Informationen einer Quittierungs-Nachricht (2), die einer der beiden Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) empfängt, wird derjenige Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) aus zwei zueinander in Übertragungsbereich befindlichen Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) festgelegt, an dessen lokaler Zeit der jeweils andere Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) seine lokale Zeit synchronisiert.

## **Verfahren und System zur Zeitsynchronisierung in einem ad-hoc-Netzwerk**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur  
5 Zeitsynchronisierung in einem ad-hoc-Netzwerk.

In mobilen Netzwerken ohne Infrastruktur - so genannten  
ad-hoc-Netzwerken - wird das Management, die Überwachung  
und die Kontrolle des Datenverkehrs direkt zwischen den  
10 einzelnen Netzteilnehmern - den so genannten Netzknoten  
bzw. Knoten - abgewickelt.

Eine wesentliche Funktion ist hierbei die  
Zeitsynchronisierung zwischen allen Knoten eines ad-hoc-  
15 Netzwerkes. Eine identische Zeitbasis bei allen Knoten des  
ad-hoc-Netzwerkes ist zwingende Voraussetzung für die  
zeitkorrekte Synchronisierung aller Knoten des ad-hoc-  
Netzwerkes auf die in einem bestimmten Zeitfenster  
übertragenen Synchronisierbitmuster zur Synchronisierung  
20 auf die korrekten Phase und Frequenz des  
Übertragungssignals z. B. in einem bestimmten  
Zeitabschnitt eines in einem ad-hoc-Netzwerk verwendeten  
Frequenzsprungverfahrens.

25 Die US 2005/0169233 A1 beschreibt ein Verfahren zur  
Zeitsynchronisierung von Netz-Knoten eines ad-hoc-Netzes.  
Die Zeitinformation zur Zeitsynchronisierung wird hierbei  
über Zeitstempel in einzelnen Datenpaketen übertragen.

30 Aus der WO 2011/154911 A1 ist eine Zeitsynchronisierung in  
einem ad-hoc-Netzwerk bekannt. Hierbei werden zuerst  
Cluster von jeweils regional benachbarten Knoten gebildet.  
Innerhalb jedes einzelnen gebildeten Clusters erfolgt eine  
Intra-Cluster-Zeitsynchronisierung, indem in einer

- festgelegten Reihenfolge einzelne Knoten des Clusters eine Nachricht zur Zeitsynchronisierung mit dem Sendezeitpunkt der Nachricht in der lokalen Zeit des sendenden Knotens versenden, mit dem die übrigen Knoten des Clusters ihre
- 5 lokale Zeit an die lokale Zeit des sendenden Knotens synchronisieren. Nachteilig an der Zeitsynchronisierung der WO 2011/154911 A1 ist einerseits der Zeitverzug in der Durchführung der Zeitsynchronisierung, der aus der für die Bildung des Clusters benötigten Zeit resultiert, und
- 10 andererseits der Aufwand für die Durchführung der Zeitsynchronisierung, der eine Festlegung der Reihenfolge für die Versendung von Nachrichten zur Zeitsynchronisierung beinhaltet.
- 15 Aus der US 2003/0117991 A1 geht eine Zeitsynchronisierung von Netzknoten in einem Mobilfunknetz hervor, bei der vorab die Hierarchie festgelegt wird, die für jeden Netzknoten Referenz-Netzknoten bestimmt, an die der jeweilige Netzknoten seine Zeit synchronisieren kann.
- 20 Nachteilig an diesem Synchronisierungsverfahren ist der Zeitverzug für die Bestimmung der Zeitreferenz-Hierarchie und für die Bekanntmachung dieser Hierarchie von Referenz-Netzknoten an jeden Netzknoten des ad-hoc-Netzwerkes.
- 25 Aus der US 2010/0238890 A1 ist eine Zeitsynchronisierung zwischen einzelnen Netzknoten eines ad-hoc-Netzwerkes bekannt, das nach dem Master-Slave-Prinzip funktioniert. Es wird ein Master-Netzknoten festgelegt, der die Zeitreferenz für insgesamt M Slave-Netzknoten zur
- 30 Verfügung stellt. Nachteilig an diesem Synchronisierungsverfahren ist ebenfalls der Zeitverzug für die Festlegung des Master-Netzknotens und für die Bekanntmachung des Master-Netz-Knotens bei allen M Slave-Netzknoten des ad-hoc-Netztes.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren und ein System zur Zeitsynchronisierung in einem ad-hoc-Netzwerk zu schaffen, das schnellstmöglich und  
5 aufwandsminimiert eine Zeitsynchronisierung mit allen Knoten des ad-hoc-Netzwerkes ermöglicht.

Die Aufgabe wird durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk mit  
10 den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch ein erfindungsgemäßes System zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk mit den Merkmalen des Patentanspruchs 17 gelöst. Vorteilhafte technische Weiterbildungen werden in den jeweils abhängigen  
15 Patentansprüchen aufgezeigt.

Hierzu sendet jeder Knoten eines ad-hoc-Netzes jeweils eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit in jeweils einem bestimmten Zeitraster aus, die jeweils von  
20 Netzknoten, die sich in Empfangsreichweite des sendenden Knotens befinden, durch Versenden einer Quittierungs-Nachricht quittiert werden. Ausgehend von zwei Knoten, die jeweils in Übertragungsbereich zueinander positioniert sind, wird aus den Nachrichten einer Quittierungs-  
25 Nachricht durch den die Quittierungs-Nachricht empfangenden Knoten derjenige Knoten festgelegt, an dessen lokale Zeit der jeweils andere Knoten seine lokale Zeit synchronisiert. Derjenige Knoten, dessen lokale Zeit zur Synchronisierung der lokalen Zeit des jeweils anderen  
30 Knoten dient, stellt somit in dem aus zwei Knoten sich bildenden ad-hoc-Netzwerk den lokale Zeit-Master des jeweils anderen Knotens dar.

Bei den beiden Knoten kann es sich um Knoten handeln, die jeweils noch nicht einem ad-hoc-Netzwerk angehören und somit über den Vorgang der Zeitsynchronisierung ein gemeinsames ad-hoc-Netzwerk gründen. Bei den beiden Knoten  
5 kann es sich auch um Knoten handeln, die jeweils beide einem unterschiedlichen ad-hoc-Netzwerk angehören. In diesem Fall werden die zu jeweils einem der beiden Knoten gehörigen ad-hoc-Netzwerke zusammengefügt und die zu den beiden ad-hoc-Netzwerken gehörigen Knoten synchronisieren  
10 jeweils ihre lokale Zeit an die lokale Zeit des festgelegten Knotens. Auch kann es sich bei den beiden Knoten jeweils um einen Knoten, der keinem ad-hoc-Netzwerk angehört, und um einen Knoten, der einem ad-hoc-Netzwerk angehört, handeln. In diesem Fall wird der Knoten ohne  
15 Einbindung in ein ad-hoc-Netzwerk in das ad-hoc-Netzwerk des jeweils anderen Knoten integriert und die einzelnen Knoten des ursprünglichen ad-hoc-Netzwerkes synchronisieren ihre lokale Zeit auf die lokale Zeit des festgelegten Knotens.

20

In allen drei Fällen wird mit höchster Priorität derjenige Knoten von den beiden sich in Übertragungsbereich befindenden Knoten bevorzugt festgelegt, dessen lokale Zeit die jeweils höchste Zeitgenauigkeit aufweist oder der  
25 an einem ad-hoc-Netzwerk an einem Knoten angebunden ist, dessen lokale Zeit die jeweils höchste Zeitgenauigkeit aufweist. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass alle Knoten des sich nun bildenden ad-hoc-Netzwerkes mit der höchstmöglichen Zeitgenauigkeit zueinander  
30 zeitsynchronisiert sind und somit eine bestmögliche Phasen- und Frequenzsynchronisierung aller Knoten des sich nun bildenden ad-hoc-Netzwerkes an die in einem Zeitabschnitt des Frequenzsprungverfahrens verwendete

Phase bzw. Frequenz des im ad-hoc-Netzwerk verwendeten Übertragungssignals ermöglicht wird.

- Wird ein einzig aus zwei Knoten bestehendes ad-hoc-Netzwerk gebildet, deren lokale Zeiten jeweils eine identische Zeitgenauigkeit aufweisen, so wird bevorzugt derjenige Knoten festgelegt, um seine lokale Zeit zur Synchronisierung der lokalen Zeit des jeweils anderen Knoten zur Verfügung zu stellen, der zuerst auf eine von einem der beiden Knoten gesendete Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit - typischerweise eine "Hallo-Nachricht" - eine Quittierungs-Nachricht verschickt. Somit bestimmt ein Knoten, der mit der Versendung einer Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit seine Anwesenheit einem potentiellen Nachbar-Knoten signalisiert und mit diesem potentiellen Nachbar-Knoten ein ad-hoc-Netzwerk gründen will, den antwortenden Nachbar-Knoten zu seinem lokalen Zeit-Master und synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit des antwortenden Nachbar-Knotens. Auf diese Weise wird der Prozess zur Bestimmung, welcher der beiden Knoten zum lokalen Zeit-Master wird, vereinfacht und damit beschleunigt.
- Für den Fall, dass mindestens einer der beiden sich in Übertragungsbereichweite zueinander befindenden Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk mit mindestens einem weiteren Knoten integriert ist und die lokalen Zeiten aller Knoten in dem sich nun bildenden ad-hoc-Netzwerk eine identische Zeitgenauigkeit aufweisen, wird in der nächst niedrigeren Priorität bevorzugt derjenige Knoten der beiden sich in Übertragungsbereichweite zueinander befindenden Knoten zum lokalen Zeit-Master festgelegt, der mit einer größeren Anzahl von Knoten in einem bisher bestehenden ad-hoc-

Netzwerk bereits verbunden ist. An seine lokale Zeit werden die lokalen Zeiten aller Knoten, die in dem sich nun bildenden ad-hoc-Netzwerk integriert werden, direkt oder indirekt synchronisiert. Eine derartige Festlegung eines Knoten bedingt einen minimal erforderlichen Synchronisierungsaufwand zwischen den einzelnen Knoten des sich nun bildenden ad-hoc-Netzwerkes.

Für den Fall, dass die beiden sich in Übertragungsreichweite zueinander befindenden Knoten und die mit diesen beiden Knoten bisher in einem ad-hoc-Netzwerk integrierten Knoten jeweils eine lokale Zeit mit einer identischen Zeitgenauigkeit aufweisen und die Anzahl der mit den beiden sich in Übertragungsreichweite zueinander befindenden Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk jeweils integrierten Knoten identisch ist, wird bevorzugt derjenige der beiden sich in Übertragungsreichweite zueinander befindenden Knoten in der niedrigsten Priorität festgelegt, um als lokaler Zeit-Master zu dienen, in dessen angegliedertes ad-hoc-Netzwerk ein Knoten mit der niedrigsten Identitäts-Nummer integriert ist. Als Identitäts-Nummer wird bevorzugt die Medium-Access-Control (MAC)-Adresse - Medium-Zugriffs-Kontroll-Adresse - des jeweiligen Knoten gewählt.

Entfernt sich mindestens ein Knoten vollständig von einem bestehenden ad-hoc-Netzwerk, so wird, sofern der sich entfernende Knoten im bisherigen ad-hoc-Netzwerk ein lokaler Zeit-Master war, mit der höchsten Priorität vorzugsweise derjenige Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes als lokaler Zeit-Master festgelegt, dessen lokale Zeit die höchste Zeitgenauigkeit unter den lokalen Zeiten aller im verbleibenden ad-hoc-Netzwerk befindlichen Knoten aufweist.

In der nächst niedrigeren Priorität, wenn alle Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes eine lokale Zeit mit einer identischen Zeitgenauigkeit aufweisen, wird vorzugsweise  
5 derjenige Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes nach dem vollständigen Entfernen mindestens eines Knoten aus den bisherigen ad-hoc-Netzwerk festgelegt, um als lokaler Zeit-Master zu dienen, der die höchste Anzahl von jeweils direkt benachbarten Knoten aufweist.

10

Schließlich wird in der niedrigsten Priorität, wenn alle Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes eine lokale Zeit mit einer identischen Zeitgenauigkeit aufweisen und eine identische Anzahl von jeweils direkt benachbarten  
15 Knoten aufweisen, bevorzugt derjenige Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes nach dem vollständigen Entfernen mindestens eines Knoten aus dem bisherigen ad-hoc-Netzwerk zum lokalen Zeit-Master festgelegt, der die niedrigste Identität-Nummer aufweist.

20

Das vollständige Entfernen eines Knotens aus einem bestehenden ad-hoc-Netzwerk wird von den Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerks vorzugsweise identifiziert, wenn innerhalb eines konstanten Zeitrasters, in denen  
25 jeweils eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit übertragen wird, seit dem letzten Empfangszeitpunkt keine weitere Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit des sich entfernenden Knoten von mindestens einem Knoten des verbleibenden ad-  
30 hoc-Netzwerkes empfangen wird.

Ein Knoten eines bisher bestehenden ad-hoc-Netzwerkes, aus dessen Übertragungsbereich sich ein Knoten entfernt, auf dessen lokale Zeit der Knoten seine lokale Zeit bisher

synchronisierte, wird im allgemeinen einen anderen in Übertragungsreichweite befindlichen Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes festlegen, um seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master festgelegten Knotens zu synchronisieren. Der sich aus der Übertragungsreichweite des Knotens entfernende Knoten kann sich dabei weiterhin in Übertragungsrate von mindestens einem weiteren Knoten des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes befinden.

10

Die Synchronisierung der lokalen Zeit eines Knoten an die lokale Zeit des von ihm als lokaler Zeit-Master festgelegten Knotens erfolgt vorzugsweise anhand des vom festgelegten Knoten in seiner Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit oder in seiner Quittierungs-Nachricht übertragenen Sendezeitzeitpunktes und des ebenfalls übertragenen Empfangszeitpunktes der zugehörigen Quittierungs-Nachricht bzw. Nachricht zur Aktualisierung einer Anwesenheit. Der die Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit oder die Quittierungs-Nachricht empfangene Knoten kann seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master festgelegten Knotens durch Vergleich des Empfangszeitpunktes der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit bzw. der Quittierungs-Nachricht mit dem übertragenen Sendezeitpunkt der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit bzw. der Quittierungs-Nachricht synchronisieren.

20

25

30

Eine Berücksichtigung der auftretenden Übertragungszeit zwischen dem als lokaler Zeit-Master festgelegten Knoten und dem die Zeitsynchronisierung durchführenden Knoten erfolgt vorzugsweise anhand des Vergleichs des Sendezeitpunktes mit dem übertragenen Empfangszeitpunkt der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit bzw.

der Quittierungs-Nachricht. Diese Zeitsynchronisierung der lokalen Zeit des jeweiligen Knoten an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master festgelegten Knotens erfolgt nicht nur im Erstkontakt zwischen diesen beiden Knoten, sondern  
5 zyklisch in jedem Empfangszeitpunkt einer Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit bzw. einer Quittierungs-Nachricht.

Da in einem ad-hoc-Netzwerk, das sich nach den obig  
10 genannten Mechanismen entwickelt, lediglich ein einziger Knoten als lokaler Zeit-Master für mindestens einen weiteren Knoten dient, der bzw. die wiederum als lokaler Zeit-Master für weitere Knoten des ad-hoc-Netzwerkes dienen, wird indirekt die lokale Zeit jedes Knoten des ad-  
15 hoc-Netzwerkes sukzessive auf die lokale Zeit dieses einzigen Knoten ohne eigenen lokalen Zeit-Master synchronisiert.

Um eine Takt drift einer lokalen Zeit eines Knotens  
20 innerhalb des ad-hoc-Netzwerkes, die eine geringere Zeitgenauigkeit als die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master festgelegten Knoten aufweist, zu reduzieren, wird von synchronisierenden Knoten bevorzugt das konstante Zeitraster zur zyklischen Versendung von Nachrichten zur  
25 Signalisierung einer Anwesenheit minimiert. Insbesondere wird vom synchronisierenden Knoten der Sendezeitpunkt einer Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit vorausberechnet, um den Einfluss der Takt drift auf die Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit des synchronisierenden  
30 Knotens auf einen bestimmten Wert zu begrenzen.

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen Systems zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk werden im Folgenden anhand

der Zeichnung im Detail beispielhaft erläutert. Die Figuren der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels des  
5 erfindungsgemäßen Systems zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk,
- Fig. 2 eine beispielhafte Darstellung eines ersten  
10 Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,
- Fig. 3 eine beispielhafte Darstellung eines zweiten  
15 Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,
- Fig. 4 eine beispielhafte Darstellung eines dritten  
20 Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,
- Fig. 5 eine beispielhafte Darstellung eines vierten  
25 Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,
- Fig. 6 eine beispielhafte Darstellung eines fünften  
30 Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,

Fig. 7 eine beispielhafte Darstellung eines sechsten Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,

5

Fig. 8 eine beispielhafte Darstellung eines siebten Szenarios für ein ad-hoc-Netzwerk und eines Zeitdiagramms der zwischen den beteiligten Knoten verschickten Nachrichten,

10

Fig. 9 eine beispielhafte Darstellung eines Zeitdiagramms der in einzelnen Knoten eines ad-hoc-Netzwerkes jeweils auftretenden Zeitungenauigkeiten und

15

Fig. 10 ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk.

20

Das erfindungsgemäße System zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk wird im Folgenden anhand der Darstellung gemäß Fig. 1 und das erfindungsgemäße Verfahren zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk wird anhand des Flussdiagramms gemäß Fig. 10 im Detail erläutert.

25

30

Im ersten Verfahrensschritt S10 des erfindungsgemäßen Verfahrens sendet jeder Knoten innerhalb oder außerhalb eines ad-hoc-Netzwerkes kontinuierlich in einem bestimmten konstanten Zeitraster eine Nachricht zur Signalisierung seiner Anwesenheit 1, insbesondere eine "Hallo-Nachricht" ("Hello Message"), um Nachbar-Knoten, die sich in seiner Übertragungreichweite befinden, seine Anwesenheit zu

signalisieren. Dieses konstante Zeitraster der Versendung einer Nachricht zur Signalisierung seiner Anwesenheit ist bei jedem Knoten typischerweise nicht identisch, sondern weist bei jedem Knoten jeweils einen unterschiedlichen Wert auf.

Die Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 eines Knoten  $i$  beinhaltet typischerweise folgende Inhalte:

- 10 • eine Identitäts-Kennung des Knoten  $i$ , die typischerweise die Medium-Access-Control (MAC)-Adresse - Medium-Zugriffs-Kontroll-Adresse - des Knoten  $i$  ist,
- den Sendezeitpunkt  $TS_i$  des Knotens  $i$  in der lokalen Zeit des Knotens  $i$ ,
- 15 • die benachbarten Knoten  $N(i_1, i_2, i_3, \dots)$  im Fall von identifizierte Knoten innerhalb der Übertragungsbereichweite des Knotens  $i$ ,
- die Empfangszeitpunkte  $RxTS(i_1, i_2, i_3, \dots)$  von Nachrichten zur Signalisierung einer Anwesenheit, die sich innerhalb der Übertragungsbereichweite des Knoten  $i$  befinden und
- 20 • die Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit des Knoten  $i$ .

Der eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 versendende Knoten wird im Folgenden sendender Knoten genannt.

Im nächsten Verfahrensschritt S20 wird die von einem Knoten  $i$  versendete Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 von einem Knoten  $j$ , der sich in der Übertragungsbereichweite des Knotens  $i$  befindet und somit die Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 des Knoten  $i$  empfängt, mit einer Quittierungs-Nachricht 2, insbesondere einer "I-Hallo-Nachricht" quittiert. Diese

Quittierungs-Nachricht 2 wird unmittelbar nach dem Empfang der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 durch den Knoten j versendet. Um das gleichzeitige Versenden einer Quittierungs-Nachricht 2 durch mehrere Knoten, die die Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 des Knotens i mehr oder weniger gleichzeitig empfangen, und damit eine Blockierung des Übertragungskanal im ad-hoc-Netzwerk zu vermeiden, erfolgt die Versendung der Quittierungs-Nachricht 2 durch den einzelnen Knoten jeweils um eine geringe und von Knoten zu Knoten jeweils verschiedene Verzögerungszeit verzögert gegenüber dem Empfangszeitpunkt der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1.

Eine Quittierungs-Nachricht 2 enthält die gleichen Inhalte wie eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1. Der eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 empfangende und eine Quittierungs-Nachricht 2 sendende Knoten wird im Folgenden empfangender Knoten genannt.

Neben den jeweils eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder jeweils eine Quittierungs-Nachricht 2 sendenden Knoten, die bereits einem ad-hoc-Netzwerk angehören und somit mit allen Knoten des ad-hoc-Netzwerkes zeitsynchronisiert sind, existieren auch Knoten, die jeweils eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder jeweils eine Quittierungs-Nachricht 2 infolge einer empfangenen Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 versenden und noch keinem ad-hoc-Netzwerk angehören. Für derartige Knoten, die auf der Suche nach einem ad-hoc-Netzwerk sind, ergibt sich mit dem Empfang einer Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder einer Quittierungs-Nachricht 2 eines anderen Knoten die Möglichkeit, mit diesem anderen Knoten

ein ad-hoc-Netzwerk zu bilden. Befindet sich der jeweils andere Knoten selbst noch nicht in einem ad-hoc-Netzwerk, so kommt es zu einer Neugründung eines ad-hoc-Netzwerkes zwischen diesen beiden Knoten. Ist der jeweils andere

5 Knoten bereits in einem ad-hoc-Netzwerk integriert, so wird der Knoten, der ein ad-hoc-Netzwerk sucht, in das bestehende ad-hoc-Netzwerk des jeweils anderen Knoten aufgenommen. Schließlich können die beiden Knoten, die über die Versendung und den Empfang einer Nachricht zur

10 Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder einer Quittierungs-Nachricht 2 miteinander in Kontakt treten, jeweils einem unterschiedlichen ad-hoc-Netzwerk angehören. Durch die Kontaktaufnahme zwischen diesen beiden Knoten kann eine Zusammenführung der beiden ad-hoc-Netzwerke zu

15 einem einzigen Gesamt-ad-hoc-Netzwerk erzielt werden.

Um eine Zeitsynchronisierung zwischen den beiden Knoten im zu gründenden ad-hoc-Netzwerk bzw. eine

Zeitsynchronisierung zwischen allen Knoten im erweiterten

20 ad-hoc-Netzwerk zu verwirklichen, wird für jeden Knoten des zu gründenden bzw. des erweiterten ad-hoc-Netzwerkes ein in direkter Nachbarschaft befindlicher Knoten festgelegt, der für den jeweils anderen Knoten ein lokaler Zeit-Master darstellt und an dessen lokaler Zeit der

25 jeweils andere Knoten seine lokale Zeit synchronisiert. Da jeder Knoten im nun entstehenden ad-hoc-Netzwerk seine lokale Zeit an die lokale Zeit des zugehörigen lokalen Zeit-Masters synchronisiert, sind alle Knoten des nun entstehenden ad-hoc-Netzwerkes zueinander

30 zeitsynchronisiert. Aus Fig. 1, das das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Systems zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netzwerk darstellt, sind einzelne Knoten 31, 32, 33, 34, 35, 36 und 37 ersichtlich, die jeweils in Übertragungsbereichweite

zueinander positioniert sind und somit ein ad-hoc-Netzwerk bilden. Der für jeden einzelnen dieser Knoten 31, 32, 33, 34, 35, 36 und 37 jeweils festgelegte lokale Zeit-Master geht hierbei aus der Pfeilrichtung der Verbindungsgerade  
5 zwischen jeweils zwei benachbarten Knoten hervor.

Die Festlegung des zum jeweiligen Knoten gehörigen lokalen Zeit-Masters innerhalb des nun entstehenden ad-hoc-Netzwerkes erfolgt über eine Prioritäts-Hierarchie.

10

In der höchsten Priorität wird derjenige Knoten des entstehenden ad-hoc-Netzwerkes identifiziert, der die lokale Zeit mit der jeweils höchsten Zeitgenauigkeit aufweist und somit zum lokalen Zeit-Master festgelegt  
15 wird. Gemäß dem nächsten Verfahrensschritt S30 wird ermittelt, ob die in der gesendeten Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder in der gesendeten Quittierungs-Nachricht 2 enthaltene Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit der beiden Knoten - sendender Knoten oder  
20 empfangender Knoten - jeweils einen höheren Wert aufweist.

Weist der sendende Knoten oder der empfangende Knoten eine höhere Zeitgenauigkeit in seiner lokalen Zeit auf, so wird im nächsten Verfahrensschritt S40 derjenige Knoten, der  
25 die höhere Zeitgenauigkeit in seiner lokalen Zeit aufweist, zum lokalen Zeit-Master des jeweils anderen Knoten. Aufgrund der Zeitreferenzierung jedes Knoten zu einem direkt benachbarten Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk gemäß Fig. 1 werden alle Knoten, die in einem ad-hoc-  
30 Netzwerk mit dem sendenden oder empfangenden Knoten bereits verbunden sind, der seine lokale Zeit auf die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master agierenden empfangenden oder sendenden Knoten referenziert, ihre lokale Zeit indirekt auf die lokale Zeit dieses lokalen

Zeit-Masters synchronisieren. Die Knoten, die mit dem als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk bereits verbunden sind, bleiben in ihrer Zeitreferenzierung zu einem jeweils benachbarten und als  
5 lokaler Zeit-Master agierenden Knoten unverändert.

Weisen die lokalen Zeiten des sendenden und empfangenden Knotens jeweils eine identische Zeitgenauigkeit auf, so wird in der nächst niedrigeren Priorität im darauf  
10 folgenden Verfahrensschritt S50 ermittelt, ob die beiden miteinander in Kontakt tretenden Knoten - sender Knoten und empfangender Knoten - jeweils Knoten ohne Einbindung in ein bestehendes ad-hoc-Netzwerk sind oder, ob einer der beiden Knoten oder beide Knoten jeweils in einem ad-hoc-  
15 Netzwerk bereits integriert sind.

Ist sowohl der sendende Knoten als auch der empfangende Knoten jeweils in keinem ad-hoc-Netzwerk bisher eingebunden, so wird gemäß dem darauf folgenden  
20 Verfahrensschritt S60 der eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 empfangende Knoten zum lokalen Zeit-Master des eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 sendenden Knotens festgelegt.

25 Für den Fall, dass mindestens ein Knoten bisher in einem ad-hoc-Netzwerk eingebunden ist, wird in einem darauf folgenden Verfahrensschritt S70 ermittelt, ob beide Knoten jeweils in einem ad-hoc-Netzwerk mit einer gleichen Anzahl von Knoten eingebunden ist. Ist dies der Fall, so wird im  
30 nächsten Verfahrensschritt S80 derjenige Knoten der beiden zueinander in Kontakt tretenden Knoten zum lokalen Zeit-Master festgelegt, der bisher in einem ad-hoc-Netzwerk mit einem Knoten eingebunden ist, der die niedrigste Medium-Access-Control (MAC)-Adresse - Medium-Zugriffs-Kontroll-

- Adresse - aufweist. Dieser Knoten wird nicht nur für den jeweils anderen Knoten der beiden in Kontakt tretenden Knoten zum lokalen Zeit-Master, sondern dient aufgrund der sukzessiven Zeitreferenzierung zwischen jedem Knoten des ad-hoc-Netzwerkes und seinem zugehörigen als lokalen Zeit-Master agierenden benachbarten Knoten indirekt als lokaler Zeit-Master für alle Knoten, die mit den jeweils anderen Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk integriert sind.
- 10 Sind beide jeweils in einem Kontakt zueinander tretenden Knoten bisher in einem ad-hoc-Netzwerk mit einer jeweils unterschiedlichen Anzahl von Knoten eingebunden oder ist ein Knoten überhaupt nicht in einem ad-hoc-Netzwerk integriert, während der jeweils andere Knoten schon bisher
- 15 einem ad-hoc-Netzwerk angehört, so wird gemäß dem folgenden Verfahrensschritt S90 derjenige der beiden zueinander in Kontakt tretenden Knoten zum lokalen Zeit-Master des jeweils anderen Knoten, der in dem ad-hoc-Netzwerk mit der höchsten Anzahl von Knoten eingebunden
- 20 ist. Die Knoten, die sich mit dem nicht zum lokalen Zeit-Master festgelegten Knoten der beiden in einem Kontakt zueinander tretenden Knoten in einem ad-hoc-Netzwerk befinden, synchronisieren ihre lokale Zeit indirekt ebenfalls aufgrund der sukzessiven Zeitreferenzierung
- 25 zwischen jedem Knoten des ad-hoc-Netzwerkes und seinem zugehörigen als lokalen Zeit-Master dienenden benachbarten Knoten auf die lokale Zeit dieses als lokalen Zeit-Master festgelegten Knoten.
- 30 Jeder Knoten in einem derart entstehenden ad-hoc-Netzwerk synchronisiert im nächsten Verfahrensschritt S100 seine lokale Zeit auf die lokale Zeit seines zugehörigen lokalen Zeit-Masters. Hierzu verwendet der jeweilige Knoten die Zeitinformationen, die in einer aktuell vom zugehörigen

als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten empfangenen Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder Quittierungs-Nachricht 2 enthalten sind. Hierbei handelt es sich einerseits um den in der lokalen Zeit des als

5 lokaler Zeit-Master agierenden Knoten ermittelten Sendezeitpunkt der jeweiligen Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder der jeweiligen Quittierungs-Nachricht 2 und um den in der lokalen Zeit des als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten ermittelten

10 Empfangszeitpunkt der zuletzt vom jeweiligen Knoten gesendeten Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder Quittierungs-Nachricht 2 beim als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten.

15 Der seine lokale Zeit an die lokale Zeit des jeweiligen lokalen Zeit-Masters synchronisierende Knoten synchronisiert seine lokale Zeit, indem er die Synchronisierung seiner lokalen Zeit an die lokale Zeit des als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten wie auch die

20 Ermittlung der Übertragungszeit zwischen dem synchronisierenden Knoten und dem als lokalen Zeit-Master agierenden Knoten einerseits aus dem in der lokalen Zeit des synchronisierenden Knotens ermittelten Sendezeitpunkt und dem in der lokalen Zeit des als lokaler Zeit-Master

25 agierenden Knotens ermittelten Empfangszeitpunkt der jeweiligen Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 oder der jeweiligen Quittierungs-Nachricht 2 und andererseits aus dem in der lokalen Zeit des synchronisierenden Knotens ermittelten Empfangszeitpunkt

30 und dem in der lokalen Zeit des als lokaler Zeit-Master agierenden Knotens ermittelten Sendezeitpunktes der darauf folgenden Quittierungs-Nachricht 2 oder der Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 bestimmt.

Im darauffolgenden Verfahrensschritt S110 wird ein u.U. auftretendes Entfernen eines Knotens oder mehrerer Knoten aus dem bestehenden ad-hoc-Netzwerk identifiziert. Hierzu wird von jedem Knoten des ad-hoc-Netzwerkes überprüft, ob

5 von jedem in der Übertragungsbereichweite des jeweiligen Knotens positionierten Nachbar-Knoten jeweils innerhalb eines festgesetzten Zeitintervalls seit dem letzten Empfangszeitpunkt einer Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 des jeweiligen Nachbar-Knoten eine weitere

10 Nachricht zu Signalisierung einer Anwesenheit 1 des jeweiligen Nachbar-Knoten empfangen wird. Trifft dies zu, so befindet sich der jeweilige Nachbar-Knoten noch innerhalb der Übertragungsbereichweite des überprüfenden Knoten. Empfängt der jeweilige Knoten aber keine weitere

15 Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 1 des jeweiligen Nachbar-Knoten innerhalb des festgelegten Zeitintervall, so hat sich der jeweilige Nachbar-Knoten zumindest aus der Übertragungsbereichweite des überprüfenden Knoten, u.U. sogar aus der Übertragungsbereichweite des

20 gesamten ad-hoc-Netzwerkes, entfernt. Ist der Knoten, der sich aus der Übertragungsbereichweite des überprüfenden Knoten entfernt hat, ein lokaler Zeit-Master für den überprüfenden Knoten, so muss der überprüfende Knoten einen neuen als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten

25 suchen. U.U. befindet sich der überprüfende Knoten inzwischen aufgrund des Entfernens des als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten aus der Übertragungsbereichweite des überprüfenden Knoten auch außerhalb des ad-hoc-Netzwerkes.

30

Der jeweilige Knoten ohne Zeitreferenz zu einem als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten ist gezwungen, einen neuen als lokalen Zeit-Master dienenden Knoten zu suchen. Befindet sich der jeweilige Knoten ohne Zeitreferenz

weiterhin noch in Übertragungsbereichweite zu einem anderen Knoten und damit in einem ad-hoc-Netzwerk mit dem anderen Knoten, so kann er diesen anderen Knoten zu seinem lokalen Zeit-Master wählen. Befindet sich der jeweilige Knoten  
5 ohne Zeitreferenz jedoch nicht mehr in Übertragungsbereichweite zu einem anderen Knoten und damit auch nicht mehr in einem ad-hoc-Netzwerk mit einem oder mehreren Knoten, so ist er gezwungen, nach den oben beschriebenen Verfahrensschritten S10 bis S90 Kontakt zu  
10 einem anderen Knoten mit oder ohne angegliederten ad-hoc-Netzwerk aufzunehmen.

Im abschließenden Verfahrensschritt S120 erfolgt in Analogie zu Verfahrensschritt S100 eine Synchronisierung  
15 der lokalen Zeit des Knoten, der Kontakt zu einem Knoten mit oder ohne angegliederten ad-hoc-Netzwerk aufgenommen hat und diesen Knoten zu seinem lokalen Zeit-Master festlegt, auf die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master festgelegten Knoten.

20

Im Folgenden wird das soeben beschriebene Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-hoc-Netz anhand der in den Figuren 2 bis 8 jeweils dargestellten Szenarien  
25 im Detail noch vertieft.

Im ersten Szenario in Fig. 2 werden zwei Knoten ohne ein angegliedertes ad-hoc-Netz betrachtet, die sich aufeinander zubewegen und ab einem bestimmten Zeitpunkt  
30 innerhalb der Übertragungsbereichweite zueinander positioniert sind.

Zum Zeitpunkt (1), in dem der Knoten  $3_1$  eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit 2 versendet, kennen die

beiden Knoten  $3_1$  und  $3_2$  die Anwesenheit des jeweils anderen Knoten nicht. Der Knoten  $3_1$  versendet folglich eine "Hallo-Nachricht", die einzig die Identität des Knotens  $3_1$ , den Sendezeitpunkt  $TS_1$  der vom Knoten  $3_1$  5 versendeten "Hallo-Nachricht" in der lokalen Zeit des Knoten  $3_1$ , die Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit des Knoten  $3_1$  und die MAC-Adresse des Knoten  $3_1$  enthält.

Diese "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_1$  wird zum Zeitpunkt 10 (2) vom Knoten  $3_2$  empfangen und unmittelbar mit einer Quittierungs-Nachricht 2 in Form einer "I-Hallo-Nachricht" quittiert, die neben der Identität des Knoten  $3_2$ , der Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit Knoten  $3_2$  und der MAC-Adresse des Knotens  $3_2$  den Sendezeitpunkt  $TS_2$  der "I- 15 Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$  in der lokalen Zeit des Knoten  $3_2$ , den identifizierten Nachbarknoten  $3_1$  und in Empfangszeitpunkt  $RxTS(1)$  der "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_1$  enthält. Für Knoten  $3_2$  dient Knoten  $3_1$  zum Zeitpunkt (2) als lokaler Zeit-Master, da Knoten  $3_2$  seine lokale Zeit 20 zumindest grob - ohne Berücksichtigung der Übertragungszeit der von Knoten  $3_1$  versendeten "Hallo-Nachricht" zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  - an die lokale Zeit Knoten  $3_1$  synchronisieren kann, indem er seine lokale Zeit um die Differenz zwischen dem in seiner 25 lokalen Zeit ermittelten Empfangszeitpunkt der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_1$  und dem in der lokalen Zeit des Knoten  $3_1$  ermittelten Sendezeitpunkt der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_1$  an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Masters agierenden Knoten  $3_1$  anpasst. Zum Zeitpunkt (2) 30 besteht lediglich für Knoten  $3_2$  die Erkenntnis, dass eine funktionierende Übertragungsverbindung von Knoten  $3_1$  zu Knoten  $3_2$  besteht. Somit liegt zum Zeitpunkt (2) lediglich eine asymmetrische Übertragungsverbindung zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  vor.

Zum Zeitpunkt (3) wird die "I-Hallo-Nachricht" des Knotens 3<sub>2</sub> vom Knoten 3<sub>1</sub> empfangen. Zum Zeitpunkt (3) besteht lediglich für Knoten 3<sub>1</sub> die Erkenntnis, dass eine

5 funktionierende Übertragungsverbindung von Knoten 3<sub>1</sub> zu Knoten 3<sub>2</sub> und von Knoten 3<sub>2</sub> zu Knoten 3<sub>1</sub> besteht. Somit liegt auch zum Zeitpunkt (2) lediglich eine asymmetrische Übertragungsverbindung zwischen Knoten 3<sub>1</sub> und Knoten 3<sub>2</sub> vor. Knoten 3<sub>1</sub> wird zum Zeitpunkt (3) Knoten 3<sub>2</sub> zu seinem

10 lokalen Zeit-Master festlegen, da die Zeitgenauigkeit des Knoten 3<sub>2</sub> der Zeitgenauigkeit von Knoten 3<sub>1</sub> entspricht und Knoten 3<sub>1</sub> über die "I-Hallo-Nachricht" von Knoten 3<sub>2</sub> erfährt, dass Knoten 3<sub>2</sub> keine Nachbar-Knoten in seiner Übertragungsreichweite besitzt und somit in keinem ad-hoc-

15 Netzwerk eingebunden ist. Da somit Knoten 3<sub>1</sub> und Knoten 3<sub>2</sub> eine gleiche Anzahl von jeweils benachbarten Knoten - nämlich genau einen einzigen Nachbar-Knoten - aufweisen, erkennt Knoten 3<sub>1</sub>, dass Knoten 3<sub>2</sub> sein lokaler Zeit-Master wird, da er derjenige Knoten war, der als erster Knoten

20 eine "Hallo-Nachricht" verschickt hat. Knoten 3<sub>1</sub> wird deshalb seine lokale Zeit auf die lokale Zeit seines als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten 3<sub>2</sub> synchronisieren und dabei im Gegensatz zur groben Synchronisierung des Knoten 3<sub>2</sub> eine exakte Synchronisierung unter

25 Berücksichtigung der Übertragungszeit zwischen Knoten 3<sub>1</sub> und Knoten 3<sub>2</sub> erzielen.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass Knoten 3<sub>2</sub> in seinem konstanten zyklischen Zeitraster zum Zeitpunkt (4) eine

30 "Hallo-Nachricht" unmittelbar nach Versendung einer "I-Hallo-Nachricht" verschickt. Um die Übertragungskapazität des Übertragungskanal durch die Versendung von "Hallo-Nachrichten" und "I-Hallo-Nachrichten" nicht unnötig zu belasten, kann die Versendung einer "Hallo-Nachricht", die

innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls nach Versendung einer "I-Hallo-Nachricht" üblicherweise erfolgt, unterdrückt werden.

- 5 Eine weitere im zyklischen Zeitraster  $\Delta T_1$  durch Knoten  $3_1$  versendete "Hallo-Nachricht", in der im Gegensatz zur ersten "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_1$  der als Nachbarknoten  $N(2)$  identifizierte Knoten  $3_2$  und die Empfangszeit  $RxTS(2)$  der vom identifizierten Nachbarknoten
- 10  $3_2$  versendeten "Hallo-Nachricht" in der lokalen Zeit des Knoten  $3_1$  übertragen werden, wird vom Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (5) empfangen. Ab dem Zeitpunkt (5) liegt zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  eine symmetrische Übertragungsverbindung vor, da sowohl Knoten  $3_1$  als auch
- 15 Knoten  $3_2$  erkannt haben, dass eine funktionierende Übertragungsverbindung von Knoten  $3_1$  nach Knoten  $3_2$  und von Knoten  $3_2$  nach Knoten  $3_1$  besteht.

- Eine weitere im zyklischen Zeitraster  $\Delta T_2$  durch Knoten  $3_2$
- 20 versendete "Hallo-Nachricht" wird zum Zeitpunkt (6) von Knoten  $3_1$  empfangen. Zum Zeitpunkt (6) erfolgt durch Knoten  $3_1$  eine erneute zyklische Synchronisierung seiner lokalen Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master für Knoten  $3_1$  agierenden Knoten  $3_2$ .

- 25 Im zweiten Szenario in Fig. 3 nähert sich ein Knoten  $3_1$  einem Knoten  $3_2$ , der in Übertragungsbereichweite zu einem Knoten  $3_3$  positioniert ist und somit mit diesem Knoten  $3_3$  bereits ein ad-hoc-Netzwerk bildet.

- 30 Zum Zeitpunkt (1) sendet der Knoten  $3_1$ , der mit keinem anderen Knoten ein ad-hoc-Netzwerk bildet, eine "Hallo-Nachricht". Diese "Hallo-Nachricht" wird zum Zeitpunkt (2) von dem in Übertragungsbereichweite zum Knoten  $3_1$

positionierten Knoten  $3_2$  empfangen. Während für Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (2) zu Knoten  $3_3$  aufgrund des bereits seit längerem bestehenden gemeinsamen ad-hoc-Netzwerkes eine symmetrische Übertragungsverbindung besteht, besteht  
5 zwischen Knoten  $3_2$  und Knoten  $3_1$  lediglich eine asymmetrische Übertragungsverbindung, da einzig Knoten  $3_2$  erkennt, dass eine korrekte Übertragung von Knoten  $3_1$  zu Knoten  $3_2$  realisiert ist. Zum Zeitpunkt (2) wird von Knoten  $3_2$  der im gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk befindliche  
10 Knoten  $3_3$  zu seinem lokalen Zeit-Master festgelegt.

Die von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (2) empfangene "Hallo-Nachricht" wird von Knoten  $3_2$  mit einer "I-Hallo-Nachricht" quittiert, die neben der Identität des Knoten  
15  $3_2$ , der Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit des Knotens  $3_2$  und der MAC-Adresse des Knotens  $3_2$  die dem Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (2) bekannten Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$  und die Empfangszeitpunkte  $RxTS(1,3)$  der vom Knoten  $3_1$  soeben empfangenen "Hallo-Nachricht" und der letzten im  
20 zyklischen Zeitraster  $\Delta T_3$  von Knoten  $3_3$  empfangenen "Hallo-Nachricht" enthält.

Zum Zeitpunkt (3) wird die "I-Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$  von Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_3$  empfangen. Knoten  $3_1$  erkennt  
25 zum Zeitpunkt (3), dass Knoten  $3_2$  sein lokaler Zeit-Master wird, da Knoten  $3_1$  über die "I-Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$  erfährt, dass Knoten  $3_2$  sich in einem ad-hoc-Netzwerk mit Knoten  $3_3$  befindet und somit Knoten  $3_2$  eine größere Anzahl von Nachbarknoten in einem ad-hoc-Netzwerk aufweist  
30 als Knoten  $3_1$ . Die Übertragungsverbindung zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  ist zum Zeitpunkt (3) nach wie vor asymmetrisch, da einzig Knoten  $3_1$  erkennt, dass die Übertragung von Knoten  $3_1$  nach Knoten  $3_2$  und von Knoten  $3_2$  nach Knoten  $3_1$  korrekt funktioniert.

Zum Zeitpunkt (4) sendet Knoten  $3_2$  in seinem zyklischen Zeitraster  $\Delta T_2$  eine weitere "Hallo-Nachricht", die Knoten  $3_1$  zum Zeitpunkt (5) empfängt. Knoten  $3_1$  synchronisiert  
5 zum Zeitpunkt (5) seine lokale Zeit an die lokale Zeit seines lokalen Zeit-Masters, des Knoten  $3_2$ , aus den Zeitinformationen, die in der "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$  enthalten sind.

10 Knoten  $3_3$  sendet in seinem zyklischen Zeitraster  $\Delta T_3$  zum Zeitpunkt (6) eine "Hallo-Nachricht", die von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (7) empfangen wird. Da Knoten  $3_3$  der lokale Zeit-Master des Knoten  $3_2$  darstellt, synchronisiert Knoten  $3_2$  seine lokale Zeit wiederholt zyklisch zum Zeitpunkt (7)  
15 mit den in der "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_3$  übertragenen Zeitinformationen auf die lokale Zeit des Knoten  $3_3$ .

Eine von Knoten  $3_1$  zum Zeitpunkt (8) in ihrem zyklischen  
20 Zeitraster  $\Delta T_1$  versendete "Hallo-Nachricht", in der die Information  $N(2)$  über den identifizierten Nachbar-Knoten  $3_2$  und die Empfangszeit  $RxTS(2)$  der von dem Knoten  $3_2$  verschickten "Hallo-Nachricht" enthalten ist, wird von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (9) empfangen. Ab dem Zeitpunkt  
25 (9) liegt eine symmetrische Übertragungsverbindung zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  vor, da sowohl Knoten  $3_1$  als auch Knoten  $3_2$  die korrekte Übertragung von Knoten  $3_1$  nach Knoten  $3_2$  und von Knoten  $3_2$  nach Knoten  $3_1$  erkannt haben.

30

Im dritten Szenario in Fig. 4 nähert sich ebenfalls ein Knoten  $3_1$  einem Knoten  $3_2$ , der in Übertragungsbereichweite

zu einem Knoten  $3_3$  positioniert ist und somit mit Knoten  $3_3$  ein ad-hoc-Netzwerk bildet.

Zum Zeitpunkt (1) sendet Knoten  $3_2$  in seinem zyklischen  
5 Zeitraster  $\Delta T_2$  eine "Hallo-Nachricht", die neben seiner  
Identität, der Zeitgenauigkeit seiner lokalen Zeit und  
seiner MAC-Adresse die Information  $N(3)$  über den bekannten  
Nachbarknoten  $3_3$  und die Empfangszeit  $RxTS(3)$  der zuletzt  
10 empfangenen "Hallo-Nachricht" des Nachbarknoten  $3_3$   
enthält. Diese "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_2$  wird zum  
Zeitpunkt (2) von Knoten  $3_1$  empfangen. Da Knoten  $3_1$  in  
dieser "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_2$  erfährt, dass  
Knoten  $3_2$  mit Knoten  $3_3$  ein ad-hoc-Netzwerk bildet, wird  
Knoten  $3_1$  seinen Nachbarknoten  $3_2$  zu seinem lokalen Zeit-  
15 Master festlegen. Eine Synchronisierung der lokalen Zeit  
des Knotens  $3_1$  zum Zeitpunkt (2) auf die lokale Zeit des  
Nachbarknotens  $3_2$  ist noch nicht möglich, da eine  
Zeitinformation zur Bestimmung der Übertragungszeit  
zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  noch nicht vorliegt.

20 Knoten  $3_1$  wird die "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_2$   
unmittelbar nach deren Empfang mit einer "I-Hallo-  
Nachricht" quittieren, in der er dem Knoten  $3_2$  seine  
Identität, den Sendezeitpunkt  $TS_1$  der "I-Hallo-Nachricht"  
25 in der lokalen Zeit des Knoten  $3_1$ , die identifizierte  
Identität  $N(2)$  des Nachbarknotens  $3_2$  und den  
Empfangszeitpunkt  $RxTS(2)$  der "Hallo-Nachricht" des  
Nachbarknoten  $3_2$  mitteilt. Diese "I-Hallo-Nachricht" des  
Knoten  $3_1$  wird von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (3) empfangen.  
30 Die Identifizierung des Nachbarknoten  $3_1$  beim Empfang der  
"I-Hallo-Nachricht" durch Knoten  $3_2$  wird mit einer  
weiteren "I-Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$  quittiert, in  
der neben anderen Informationen auch die identifizierte  
Identität  $N(1,3)$  der beiden Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$  und

die Empfangszeitpunkte  $RxTS(1,3)$  der von Knoten  $3_1$  empfangenen "I-Hallo-Nachricht" und der von Knoten  $3_3$  empfangenen "Hallo-Nachricht" enthalten sind.

- 5 Diese "I-Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_2$  wird zum Zeitpunkt (4) von Knoten  $3_1$  empfangen, der aus den Zeitinformationen dieser "I-Hallo-Nachricht" seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master agierenden Knotens  $3_2$  synchronisiert. Ab dem Zeitpunkt (4)
- 10 besteht zwischen Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_2$  eine symmetrische Übertragungsverbindung, da sowohl Knoten  $3_1$  als auch Knoten  $3_2$  die korrekte Übertragung von Knoten  $3_1$  nach Knoten  $3_2$  und von Knoten  $3_2$  nach Knoten  $3_1$  erkannt haben.
- 15 Eine von Knoten  $3_3$  zum Zeitpunkt (5) in seinem zyklischen Zeitraster  $\Delta T_3$  versendete "Hallo-Nachricht" wird von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (6) empfangen und dient zur Synchronisierung der lokalen Zeit des Knoten  $3_2$  an die lokale Zeit des als zugehörigen lokale Zeit-Master
- 20 agierenden Knoten  $3_3$ . Ab dem Zeitpunkt (7) sendet Knoten  $3_1$  in seinem zyklischen Zeitraster  $\Delta T_1$  jeweils eine "Hallo-Nachricht".

Im vierten Szenario in Fig. 5 entfernt sich ein Knoten  $3_1$

25 aus einem ad-hoc-Netzwerk, das ursprünglich aus den Knoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_3$  besteht.

Zum Zeitpunkt (1) besteht sowohl zwischen dem Knoten  $3_1$  und dem Knoten  $3_2$  als auch zwischen dem Knoten  $3_2$  und dem

30 Knoten  $3_3$  wie auch zwischen dem Knoten  $3_1$  und dem Knoten  $3_3$  jeweils eine symmetrische Übertragungsverbindung, da jeder der Knoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_3$  jeweils die Korrektheit einer bidirektionalen Übertragung zu jedem anderen der beiden Knoten erkannt hat. Knoten  $3_1$  stellt aufgrund seiner

niedrigsten MAC-Adresse den lokalen Zeit-Master für die beiden anderen Knoten  $3_2$  und  $3_3$  dar.

In den ersten beiden Zeitpunkten (1) und (4) des  
5 zyklischen Zeitrasters  $\Delta T_2$ , sendet Knoten  $3_2$  jeweils eine  
"Hallo-Nachricht", die einzig von Knoten  $3_3$  empfangen  
wird, da sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von  
Knoten  $3_2$  entfernt hat. Knoten  $3_2$  erkennt zu den beiden  
Zeitpunkten (1) und (4) das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus  
10 dem gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk noch nicht und überträgt  
deshalb in seiner "Hallo-Nachricht" neben anderen  
Informationen auch die identifizierte Identität  $N(1,3)$  der  
beiden Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$  im gemeinsamen ad-hoc-  
Netzwerk und die Empfangszeitpunkte  $RxTS(1,3)$  der zuletzt  
15 empfangenen "Hallo-Nachrichten" der beiden Nachbarknoten  
 $3_1$  und  $3_3$ .

Auch Knoten  $3_3$  erkennt das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus dem  
gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk zu den Sendezeitpunkten (3)  
20 und (5) der im zyklischen Zeitraster  $\Delta T_3$  gesendeten  
"Hallo-Nachricht" und überträgt deshalb in seiner "Hallo-  
Nachricht" neben anderen Informationen auch die  
identifizierte Identität  $N(1,2)$  der beiden Nachbarknoten  
 $3_1$  und  $3_2$  im gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk und die  
25 Empfangszeitpunkte  $RxTS(1,2)$  der zuletzt empfangenen  
"Hallo-Nachrichten" der beiden Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_2$ .

Erst zum Sendezeitpunkt (6) erkennt Knoten  $3_2$  das  
Entfernen von Knoten  $3_1$  aus seiner Übertragungsbereichweite  
30 und überträgt deshalb in seiner "Hallo-Nachricht" neben  
anderen Informationen nur noch die identifizierte  
Identität  $N(3)$  des Nachbarknotens  $3_3$  und den  
Empfangszeitpunkt  $RxTs(3)$  der von Knoten  $3_3$  zuletzt  
empfangenen "Hallo-Nachricht". Die in der "Hallo-

Nachricht" von Knoten  $3_2$  enthaltene Mitteilung, dass sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungreichweite von Knoten  $3_2$  entfernt hat, wird von Knoten  $3_3$  mit einer "I-Hallo-Nachricht" unmittelbar nach Empfang der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_2$  quittiert.

Zum Empfangszeitpunkt (7) der von Knoten  $3_3$  verschickten "I-Hallo-Nachricht" bei Knoten  $3_2$  wird Knoten  $3_3$  zum neuen lokalen Zeit-Master von Knoten  $3_2$ . Knoten  $3_2$  synchronisiert zum Zeitpunkt (7) seine lokale Zeit mit den Zeitinformationen der "I-Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_3$  auf die lokale Zeit des Knotens  $3_3$ .

Knoten  $3_3$  erkennt ab einem bestimmten Zeitpunkt (8), dass Knoten  $3_1$  sich auch aus seiner Übertragungreichweite entfernt hat und folgert daraus, dass er selbst ab sofort zum lokalen Zeit-Master für Knoten  $3_2$  wird und somit seine eigene lokale Zeit nicht mehr an die lokale Zeit eines anderen Knoten des ad-hoc-Netzwerkes synchronisieren muss.

Im fünften Szenario in Fig. 6 entfernt sich ein Knoten  $3_1$  aus einem gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk, das aus den Knoten  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$  ursprünglich gebildet ist.

In der Konfiguration des fünften Szenarios besteht zum Zeitpunkt (1) eine symmetrische Übertragungsverbindung des Knoten  $3_1$  zu den beiden Knoten  $3_2$  und  $3_3$ , eine symmetrische Übertragungsverbindung des Knoten  $3_2$  zu den beiden Knoten  $3_1$  und  $3_3$ , eine symmetrische Übertragungsverbindung des Knotens  $3_3$  mit den Knoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_4$  und eine symmetrische Übertragungsverbindung des Knotens  $3_4$  mit den beiden Knoten  $3_1$  und  $3_2$ . Knoten  $3_3$  agiert als lokaler Zeit-Master für die Knoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_4$ , da er der einzige

Knoten in gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk mit der meisten Anzahl von benachbarten Knoten darstellt.

Das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_2$  wird zu den Sendezeitpunkten (2) und (5) der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_2$  noch nicht erkannt, so dass diese "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_2$  Informationen zu allen Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$  des Knotens  $3_2$  enthält. Äquivalent wird das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_3$  zu den Sendezeitpunkten (3) und (6) der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_3$  noch nicht erkannt, so dass die "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_3$  die Informationen zu allen Nachbarknoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_4$  des Knotens  $3_3$  enthält. Schließlich wird das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_4$  zu den Sendezeitpunkten (4) und (7) der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_4$  noch nicht erkannt, so dass auch die "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_4$  Information von zwei Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$  des Knotens  $3_4$  enthält.

Mehr oder weniger gleichzeitig zum Zeitpunkt (8) erkennen die Knoten  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$  aufgrund einer ausbleibenden "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_1$  das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus ihren jeweiligen Übertragungsbereichweiten und somit auch aus dem gesamten ad-hoc-Netzwerk.

Somit enthält die "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_2$  zum Sendezeitpunkt (9) nur noch Informationen für den verbleibenden Nachbarknoten  $3_3$ . Ebenso enthält die "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_3$  zum Sendezeitpunkt (10) nur noch Informationen für die verbleibenden Nachbarknoten  $3_2$  und  $3_4$ . Schließlich enthält die "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_4$  zum Sendezeitpunkt (13) nur noch Informationen für den

verbleibenden Nachbarknoten  $3_3$ . Eine Quittierung der in der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_2$  enthaltenen Mitteilung, dass sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_2$  entfernt hat, durch  
5 eine unmittelbar verschickte "I-Hallo-Nachricht" durch Knoten  $3_3$  unterbleibt, da Knoten  $3_3$  vergleichsweise zeitnah zum Sendezeitpunkt (10) eine "Hallo-Nachricht" verschickt, aus der hervorgeht, dass Knoten  $3_1$  sich auch aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_3$  entfernt hat.  
10 Aus demselben Grund verschickt Knoten  $3_4$  keine Quittierung der in der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_3$  enthaltenen Mitteilung, dass sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_3$  entfernt hat, mittels einer "I-Hallo-Nachricht".

15

Knoten  $3_3$  wird zum lokalen Zeit-Master für die Knoten  $3_2$  und  $3_4$  des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes, da er der einzige Knoten im verbleibenden ad-hoc-Netzwerk mit der meisten Anzahl von benachbarten Knoten ist. Somit  
20 synchronisiert Knoten  $3_2$  zum Empfangszeitpunkt (11) der "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_3$  seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master agierenden Knoten  $3_3$ , während Knoten  $3_4$  zum Empfangszeitpunktes (12) der "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_3$  seine lokale Zeit  
25 äquivalent an die lokale Zeit des Knotens  $3_3$  synchronisiert.

Im sechsten Szenario in Fig. 7 entfernt sich Knoten  $3_1$  nicht gleichzeitig von allen übrigen Knoten  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$   
30 des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes, sondern entfernt sich sukzessive aus der Übertragungsbereichweite der einzelnen Knoten  $3_4$ ,  $3_3$  und  $3_2$ .

Die Ursprungsconfiguration des sechsten Szenarios entspricht der Ursprungsconfiguration des fünften

Szenarios. Somit fungiert Knoten  $3_3$  als lokaler Zeit-Master für die Knoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_4$  und die vorhandenen symmetrischen Übertragungsverbindungen zwischen den einzelnen Knoten entsprechen den symmetrischen Übertragungsverbindungen im fünften Szenario. Zum Zeitpunkt (1) entfernt sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsreichweite von Knoten  $3_4$ .

Das sukzessive Entfernen von Knoten  $3_1$  aus dem gemeinsamen ad-hoc-Netzwerk wird von den übrigen Knoten  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$  in den ersten Sendezeitpunkten ihrer "Hallo-Nachrichten" nicht erkannt. Knoten  $3_2$  verschickt zu den Sendezeitpunkten (2), (8), (14), (22), (29), (35) und (41) jeweils eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über alle seine Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$ . Knoten  $3_3$  verschickt zu den Sendezeitpunkten (3), (9), (17) und (23) jeweils eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über alle seine Nachbarknoten  $3_1$ ,  $3_2$  und  $3_3$ . Knoten  $3_4$  verschickt zum Sendezeitpunkt (7) und (13) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über alle seine Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$ . Aufgrund des Entfernens von Knoten  $3_1$  aus Übertragungsreichweite von Knoten  $3_4$  erreicht die von Knoten  $3_1$  und Knoten  $3_4$  jeweils verschickte "Hallo-Nachricht" den Knoten  $3_4$  bzw.  $3_1$  nicht.

Knoten  $3_2$  synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit des Knotens  $3_1$  zu den Empfangszeitpunkten (5), (11), (20) und (26) der "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_1$  mit den in dieser "Hallo-Nachricht" enthaltenen Zeitinformationen. Äquivalent synchronisiert Knoten  $3_3$  seine lokale Zeit an die lokale Zeit des Knoten  $3_1$  zum Empfangszeitpunkt (6) und (12) der "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_1$  mit den in dieser "Hallo-Nachricht" enthaltenen Zeitinformationen.

Zum Zeitpunkt (15) erkennt Knoten  $3_4$  das Entfernen von Knoten  $3_1$  aus seiner Übertragungsbereichweite, da er jüngst innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls keine "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_1$  empfangen hat und versendet zu den nächsten Sendezeitpunkten (21), (27), (34), (40) und (45) eine "Hallo-Nachricht", die lediglich Informationen zu seinem verbleibenden Nachbarknoten  $3_3$  enthält. Für die Synchronisierung seiner lokalen Zeit wählt er den in seiner Übertragungsbereichweite positionierten Knoten  $3_3$  zu seinem lokalen Zeit-Master und synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master agierenden Knoten  $3_3$  zu den Empfangszeitpunkten (18), (24), (32), (39) und (44) einer "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_3$ . Zum Zeitpunkt (16) entfernt sich Knoten  $3_1$  auch aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_3$ .

Zum Sendezeitpunkt (19) einer zyklisch zu verschickenden "Hallo-Nachricht" erkennt Knoten  $3_1$ , dass er von Knoten  $3_4$  innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls seit dem letzten Empfang einer "Hallo-Nachricht" keine "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_4$  empfangen hat und sich somit aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_4$  entfernt hat. Somit verschickt Knoten  $3_1$  zum Sendezeitpunkt (19) eine "Hallo-Nachricht", die lediglich Informationen zu den noch verbleibenden Nachbarknoten  $3_2$  und  $3_3$  enthält und lediglich den Knoten  $3_2$  erreicht.

Diese "Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_1$  empfängt einzig Knoten  $3_2$  zum Empfangszeitpunkt (20) und erkennt anhand dieser "Hallo-Nachricht", dass sich Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite von Knoten  $3_4$  entfernt hat, synchronisiert aber zu diesem Zeitpunkt (20) seine lokale Zeit weiterhin auf die lokale Zeit seines als lokalen Zeit-Master agierenden Knotens  $3_1$ .

Zum Zeitpunkt (28) erkennt Knoten  $3_3$ , dass Knoten  $3_1$  sich aus seiner Übertragungsbereichweite entfernt hat, da er  
jüngst innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls keine  
5 "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_1$  empfangen hat  
(insbesondere die "Hallo-Nachrichten" des Knoten  $3_1$ , die  
Knoten  $3_2$  zum Empfangszeitpunkt (20) und (26) empfangen  
hat) und versendet zu den nächsten Sendezeitpunkten (31),  
(37) und (43) eine "Hallo-Nachricht", die lediglich  
10 Informationen zu den noch verbleibenden Nachbarknoten  $3_2$   
und  $3_4$  enthält. Knoten  $3_3$  legt zur Synchronisierung seiner  
lokalen Zeit Knoten  $3_2$  zu seinem lokalen Zeit-Master fest,  
da Knoten  $3_2$  die niedrigste MAC-Adresse von allen im  
verbleibenden ad-hoc-Netzwerk verbleibenden Knoten  $3_2$ ,  $3_3$   
15 und  $3_4$  aufweist. Zu den nächsten Empfangszeitpunkten (30),  
(36) und (42) einer "Hallo-Nachricht" des Knoten  $3_2$   
synchronisiert somit Knoten  $3_3$  seine lokale Zeit an die  
lokale Zeit des als lokalen Zeit-Master agierenden Knotens  
 $3_2$ .

20

Zum Zeitpunkt (33) entfernt sich Knoten  $3_1$  schließlich  
auch aus der Übertragungsbereichweite des Knotens  $3_2$ . Das  
Entfernen von Knoten  $3_1$  aus der Übertragungsbereichweite des  
Knotens  $3_2$  wird von Knoten  $3_2$  zum Zeitpunkt (46) erkannt.  
25 Knoten  $3_2$  bleibt lokaler Zeit-Master des Knotens  $3_3$  und  
des Knotens  $3_4$  des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes und  
muss deshalb seine lokale Zeit nicht an die lokale Zeit  
eines anderen Knotens synchronisieren.

30 Im siebten Szenario der Fig. 8 vereinigen sich zwei Teil-  
ad-hoc-Netzwerke bestehend aus den Knoten  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$   
einerseits und den Knoten  $3_5$ ,  $3_6$ ,  $3_7$  und  $3_8$  andererseits zu  
einem einzigen Gesamt-ad-hoc-Netzwerk.

In der Ursprungsconfiguration bildet Knoten  $3_1$  mit Knoten  $3_2$  eine symmetrische Übertragungsverbindung, während Knoten  $3_2$  zusätzlich eine symmetrische Übertragungsverbindung mit Knoten  $3_3$  bildet, der wiederum  
5 eine symmetrische Übertragungsverbindung mit Knoten  $3_4$  bildet. Knoten  $3_1$  dient als lokaler Zeit-Master für Knoten  $3_2$ , während Knoten  $3_3$  als lokaler Zeit-Master für Knoten  $3_2$  und Knoten  $3_4$  als lokaler Zeit-Master von Knoten  $3_3$  agiert. Äquivalent bildet Knoten  $3_5$  mit Knoten  $3_6$  eine  
10 symmetrische Übertragungsverbindung, während Knoten  $3_6$  zusätzlich eine symmetrische Übertragungsverbindung mit Knoten  $3_7$  bildet, der wiederum eine symmetrische Übertragungsverbindung mit Knoten  $3_8$  bildet. Knoten  $3_5$  dient als lokaler Zeit-Master für Knoten  $3_6$ , während  
15 Knoten  $3_7$  als lokaler Zeit-Master für Knoten  $3_6$  und Knoten  $3_8$  als lokaler Zeit-Master von Knoten  $3_7$  agiert.

Die einzelnen Knoten  $i$  senden innerhalb ihres jeweiligen zyklischen Zeitrasters  $\Delta T_i$  jeweils eine "Hallo-Nachricht"  
20 an ihre jeweiligen Nachbar-Knoten. Knoten  $3_1$  sendet zum Zeitpunkt (1) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seinen identifizierten Nachbarknoten  $3_2$ . Knoten  $3_5$  sendet zum Zeitpunkt (2) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seinen identifizierten Nachbarknoten  
25  $3_6$ . Knoten  $3_2$  sendet zum Zeitpunkt (3) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_1$  und  $3_3$ . Knoten  $3_6$  sendet zum Zeitpunkt (4) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_5$  und  $3_7$ . Knoten  $3_3$  sendet  
30 zum Zeitpunkt (5) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_2$  und  $3_4$ . Knoten  $3_7$  sendet zum Zeitpunkt (7) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_6$  und  $3_8$ . Knoten  $3_4$  sendet zum Zeitpunkt (4) eine "Hallo-

Nachricht" mit Informationen über seinem identifizierten Nachbarknoten  $3_3$ . Knoten  $3_8$  sendet zum Zeitpunkt (8) eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen über seinen identifizierten Nachbarknoten  $3_7$ .

5

Zu einem späteren Zeitpunkt (9) sendet Knoten  $3_4$  wiederum eine "Hallo-Nachricht" mit Informationen  $N(3)$  über seinen identifizierten Nachbarknoten  $3_3$ , die nicht nur vom Nachbarknoten  $3_3$ , sondern auch im Zeitpunkt (10) vom Knoten  $3_5$  des jeweils anderen Teil-ad-hoc-Netzwerkes empfangen wird, der sich in Übertragungsbereichweite zum Knoten  $3_4$  befindet. Da Knoten  $3_4$  für Knoten  $3_5$  im ersten Moment ein fremder Knoten ist, quittierte er den Empfang der "Hallo-Nachricht" von Knoten  $3_4$  mit einer "I-Hallo-Nachricht" zum Zeitpunkt (11) mit Informationen  $(N_4, 6)$  über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_4$  und  $3_6$ , die von Knoten  $3_4$  zum Zeitpunkt (12) empfangen wird. Da auch Knoten  $3_5$  für Knoten  $3_4$  im ersten Moment ein fremder Knoten ist, wird Knoten  $3_4$  unmittelbar nach Empfang der "I-Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_5$  zum Zeitpunkt (13) eine "I-Hallo-Nachricht" mit Informationen  $N(3,5)$  über seine identifizierten Nachbarknoten  $3_3$  und  $3_5$  versenden.

Da einer der Knoten  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$  und  $3_4$  des in Fig. 8 linksseitig dargestellten ad-hoc-Netzwerkes die niedrigste MAC-Adresse von allen zukünftig in einem einzigen ad-hoc-Netzwerk zu integrierenden Knoten  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$ ,  $3_4$ ,  $3_5$ ,  $3_6$ ,  $3_7$  und  $3_8$  aufweist, wird Knoten  $3_4$  nicht nur von Knoten  $3_3$  des in Fig. 8 linksseitig dargestellten ad-hoc-Netzwerkes, sondern auch von Knoten  $3_5$  des in Fig. 8 rechtsseitig dargestellten ad-hoc-Netzwerkes zum lokalen Zeit-Master festgelegt. Zum Empfangszeitpunkt (14) der "I-Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_4$  beim Knoten  $3_5$  liegt eine symmetrische Übertragungsverbindung zwischen Knoten  $3_4$  und

30

Knoten  $3_5$  vor, da beide Knoten  $3_4$  und  $3_5$  jeweils zu diesem Zeitpunkt (14) erkannt haben, dass eine korrekte Übertragung von Knoten  $3_4$  nach Knoten  $3_5$  und von Knoten  $3_5$  nach Knoten  $3_4$  existiert. Zum Empfangszeitpunkt (14) der  
5 "I-Hallo-Nachricht" des Knotens  $3_4$  beim Knoten  $3_5$  synchronisiert Knoten  $3_5$  seine lokale Zeit an die lokale Zeit des als lokaler Zeit-Master agierenden Knoten  $3_4$  aus den in der "I-Hallo-Nachricht" übertragenen Zeitinformationen.

10

Mit den Zeitinformationen der von Knoten  $3_5$  zum Zeitpunkt (15) gesendeten "Hallo-Nachricht", die Knoten  $3_6$  zum Zeitpunkt (16) empfängt, synchronisiert Knoten  $3_6$  seine lokale Zeit an die lokale Zeit seines als lokalen Zeit-  
15 Master agierenden Knotens  $3_5$ . Äquivalent synchronisiert Knoten  $3_7$  seine lokale Zeit an die lokale Zeit seines als lokalen Zeit-Master agierenden Knoten  $3_6$  mit den Zeitinformationen der von Knoten  $3_6$  zum Zeitpunkt (17) gesendeten "Hallo-Nachricht", die Knoten  $3_7$  zum Zeitpunkt  
20 (18) empfängt. Auch Knoten  $3_8$  synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit seines als lokalen Zeit-Master agierenden Knotens  $3_7$  mit den Zeitinformationen der von Knoten  $3_7$  zum Zeitpunkt (19) gesendeten "Hallo-Nachricht", die Knoten  $3_8$  zum Zeitpunkt (20) empfängt.

25

Abschließend sei erwähnt, dass die lokale Zeit jedes Knotens innerhalb oder außerhalb eines ad-hoc-Netzwerkes aufgrund einer Takt drift des in jedem Knoten für die Generierung der lokalen Zeit implementierten  
30 Taktgenerators eine gewisse Zeitungenauigkeit aufweist. Der Verlauf der Zeitungenauigkeit der in einem Knoten realisierten lokalen Zeit ist aus Fig. 9 für jeweils vier Knoten zu erkennen. Diese vier Knoten synchronisieren jeweils ihre lokale Zeit seriell an einen als lokalen

Zeit-Master agierenden Nachbarknoten. Knoten 2 synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit von Knoten 1; Knoten 3 synchronisiert seine lokale Zeit an die lokale Zeit von Knoten 2 usw. Ab dem

5 Synchronisierungszeitpunkt, in dem die Zeitungenauigkeit der jeweiligen lokalen Zeit minimal ist, steigt die Zeitungenauigkeit der jeweiligen lokalen Zeit linear an, bis sie wieder synchronisiert wird.

10 Durch Reduzierung des Synchronisierungsintervalls mittels Reduzierung des zyklischen Zeitrasters, in dem vom jeweiligen als lokalen Zeit-Master agierenden Knoten jeweils eine "Hallo-Nachricht" gesendet wird, kann eine Minimierung der Zeitungenauigkeit einer in einem Knoten

15 realisierten lokalen Zeit verwirklicht werden, wie aus Fig. 9 hervorgeht. Bevorzugt wird vom jeweiligen lokalen Zeit-Master der Zeitpunkt vorab berechnet, in der eine "Hallo-Nachricht" zur Zeitsynchronisierung verschickt wird, um eine maximal erlaubte Zeitungenauigkeit beim zu

20 synchronisierenden Knoten einzuhalten.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführungsform und die dargestellten Szenarien beschränkt. Von der Erfindung sind sämtliche Kombinationen

25 aller in den Patentansprüchen beanspruchten Merkmale, aller in der Beschreibung offenbarten Merkmale und aller in den Figuren der Zeichnung dargestellten Merkmale abgedeckt.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen  
5 ad-hoc-Netzwerk mit folgenden Verfahrensschritten:
- Versenden einer Nachricht zur Signalisierung einer  
Anwesenheit (1) durch jeden Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$   
des mobilen ad-hoc-Netzwerkes in jeweils einem bestimmten  
Zeitraster,
  - 10 • Quittieren der empfangenen Nachricht zur  
Signalisierung einer Anwesenheit (1) durch jeden in  
Übertragungsbereichweite des versendenden Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  befindlichen Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  mit jeweils einer Quittierungs-  
15 Nachricht (2),
  - Festlegen desjenigen Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$   
aus zwei zueinander in Übertragungsbereichweite befindlichen  
Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$ , an dessen lokaler Zeit der  
jeweils andere Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  seine lokale  
20 Zeit synchronisiert, anhand von Informationen einer  
Quittierungs-Nachricht (2), die einer der beiden Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  empfängt, und
  - Synchronisieren der lokalen Zeit der Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  auf die lokale Zeit des jeweiligen  
25 festgelegten Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$ .
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass derjenige Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  der beiden  
30 zueinander in Übertragungsbereichweite befindlichen Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  festgelegt wird, dessen lokale  
Zeit die höchste Zeitgenauigkeit aufweist oder der in  
einem anderen ad-hoc-Netzwerk mit einem Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  eingebunden ist, dessen lokale  
35 Zeit die höchste Zeitgenauigkeit aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**

dass bei einem sich einzig aus zwei Knoten  $(3_1, 3_2)$  bildenden ad-hoc-Netzwerk, deren lokale Zeiten eine identische Zeitgenauigkeit aufweisen, derjenige Knoten  $(3_1, 3_2)$  festgelegt wird, der zuerst auf eine Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit (1) der beiden Knoten  $(3_1, 3_2)$  eine Quittierungs-Nachricht (2) sendet.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,**

10 dass bei einer identischen Zeitgenauigkeit aller in das zu bildende ad-hoc-Netzwerk eingebundenen Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  derjenige Knoten der beiden zueinander in Übertragungsbereich befindlichen Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  festgelegt wird, der mit einer größeren Anzahl von Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  bisher ein ad-hoc-Netzwerk bildet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,**

20 dass bei einer identischen Zeitgenauigkeit aller in das zu bildende ad-hoc-Netzwerk eingebundenen Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  und bei einer identischen Anzahl von Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$ , mit denen die beiden zueinander in Übertragungsbereich befindlichen Knoten jeweils ein ad-hoc-Netzwerk bilden, derjenige Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  festgelegt wird, dessen ad-hoc-Netzwerk eine niedrigere Identitäts-Kennung aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

30 **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Identitäts-Kennung des ad-hoc-Netzwerkes die Medium-Zugriffs-Kontroll-Adresse des ad-hoc-Netzwerkes ist.

35 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,**

dass bei einem ad-hoc-Netzwerk, aus dem sich mindestens ein Knoten  $(3_1)$  entfernt, derjenige Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des

übrigen ad-hoc-Netzwerkes festgelegt wird, an dessen lokaler Zeit die übrigen Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des ad-hoc-Netzwerke jeweils ihre lokale Zeit synchronisieren, der die lokale Zeit mit der höchsten Zeitgenauigkeit aufweist.

5

8. Verfahren zur Zeitsynchronisierung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,**

dass bei einem ad-hoc-Netzwerk, aus dem sich mindestens ein Knoten  $(3_1)$  entfernt, und bei identischer

10 Zeitgenauigkeit der lokalen Zeiten der Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes derjenige Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes festgelegt wird, der die höchste Anzahl von direkt benachbarten Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  aufweist.

15

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass bei einem ad-hoc-Netzwerk, aus dem sich mindestens ein Knoten  $(3_1)$  entfernt, und bei identischer

20 Zeitgenauigkeit der lokalen Zeiten der Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes und bei einer identischen Anzahl von jeweils direkt benachbarten Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  bei jedem Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes derjenige Knoten  $(3_2, 3_3, 3_4)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes  
25 festgelegt wird, der die niedrigste Identität-Kennung aufweist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

**dadurch gekennzeichnet,**

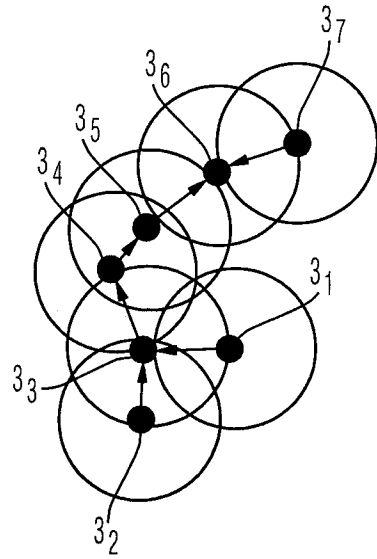
30 dass ein Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  eines ad-hoc-Netzwerkes, von dem sich ein Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  entfernt, an dessen lokaler Zeit der Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  des ad-hoc-Netzwerkes bisher seine lokale Zeit synchronisierte, einen anderen in seiner  
35 Übertragungsreichweite befindlichen Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  des übrigen ad-hoc-Netzwerkes festlegt, an dessen lokaler Zeit er seine lokale Zeit synchronisiert.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Synchronisieren der lokalen Zeit der Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ), die jeweils mit einem der beiden  
5 zueinander in Übertragungsbereichweite befindlichen Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) ein ad-hoc-Netzwerk bilden, an die  
lokale Zeit des festgelegten Knotens ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6,$   
 $3_7, 3_8$ ) dadurch realisiert wird, dass jeder Knoten ( $3_1, 3_2,$   
 $3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) des jeweiligen ad-hoc-Netzwerkes einen  
10 direkt benachbarten Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) des ad-  
hoc-Netzwerkes als Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ )  
festlegt, an dessen lokaler Zeit er seine lokale Zeit  
synchronisiert.
- 15 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Synchronisieren der lokalen Zeit eines Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) an die lokale Zeit des  
festgelegten Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) dadurch  
20 erfolgt, dass der festgelegte Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6,$   
 $3_7, 3_8$ ) dem Knoten den Empfangszeitpunkt der vom Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) gesendeten Nachricht zur  
Aktualisierung einer Anwesenheit (1) oder Quittierungs-  
Nachricht (2) in der lokalen Zeit des festgelegten Knotens  
25 ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) und den Sendzeitpunkt einer an  
den Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) gesendeten Nachricht  
zur Signalisierung einer Anwesenheit (1) oder  
Quittierungs-Nachricht (2) mitteilt.
- 30 13. Verfahren nach Anspruch 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Synchronisieren der lokalen Zeit eines Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) an die lokale Zeit des  
festgelegten Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) bei jedem  
35 Empfang einer Nachricht zur Signalisierung einer  
Anwesenheit (1) oder einer Quittierungs-Nachricht (2) des  
festgelegten Knotens ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Entfernen eines Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$   
aus einem ad-hoc-Netzwerk erkannt wird, falls seit dem  
5 letzten Empfangszeitpunkt einer Nachricht zur  
Signalisierung einer Anwesenheit (1) des sich entfernenden  
Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  innerhalb eines konstanten  
Zeitrasters, in denen jeweils eine Nachricht zur  
Signalisierung einer Anwesenheit (1) übertragen wird,  
10 keine weitere Nachricht zur Signalisierung einer  
Anwesenheit (1) des sich entfernenden Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3,$   
 $3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  von allen übrigen Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5,$   
 $3_6, 3_7, 3_8)$  des verbleibenden ad-hoc-Netzwerkes empfangen  
wird.
- 15
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass zur Reduzierung des Einflusses einer Taktdrift auf  
die Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit eines Knotens  
20  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  ein konstantes Zeitraster, in dem  
der Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  eine Nachricht zur  
Aktualisierung einer Anwesenheit (1) sendet, minimiert  
wird.
- 25
16. Verfahren nach Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Knoten  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  den Sendezeitpunkt  
der Nachricht zur Aktualisierung einer Anwesenheit (1)  
vorausberechnet, um den Einfluss der Taktdrift auf die  
30 Zeitgenauigkeit der lokalen Zeit des Knotens  $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4,$   
 $3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$  zu begrenzen.
17. System zur Zeitsynchronisierung in einem mobilen ad-  
hoc-Netzwerk bestehend aus mehreren, jeweils eine  
35 Nachricht zur Signalisierung einer Anwesenheit (1) in  
jeweils einem bestimmten Zeitraster versendenden Knoten  
 $(3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8)$ , wobei durch jeden in  
Übertragungsreichweite des eine Nachricht zur

Signalisierung einer Anwesenheit (1) versendenden Knotens  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) befindlichen Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) eine Quittierung der Nachricht zur  
Signalisierung einer Anwesenheit (1) mittels einer  
5 Quittierungs-Nachricht (2) erfolgt, wobei von jeweils zwei  
zueinander in Übertragungsbereichweite befindlichen Knoten  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) ein Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ )  
festgelegt ist, an dessen lokaler Zeit die lokale Zeit des  
jeweils anderen Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ )  
10 synchronisiert ist, wobei die Festlegung des Knotens  
( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) anhand von Informationen der von  
einem der beiden zueinander in Übertragungsbereichweite  
befindlichen Knoten ( $3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 3_7, 3_8$ ) empfangenen  
Quittierungs-Nachricht (2) erfolgt.

15



Legende:


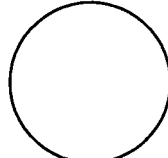

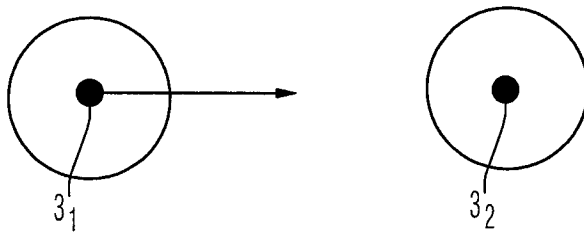

-  : Knoten
-  : Übertragungsreichweite des Knotens
-  : Referenzierung eines Knotens zum zugehörigen lokalen Zeit-Master

Fig. 1



Legende:

-  : Bewegungsrichtung eines Knotens

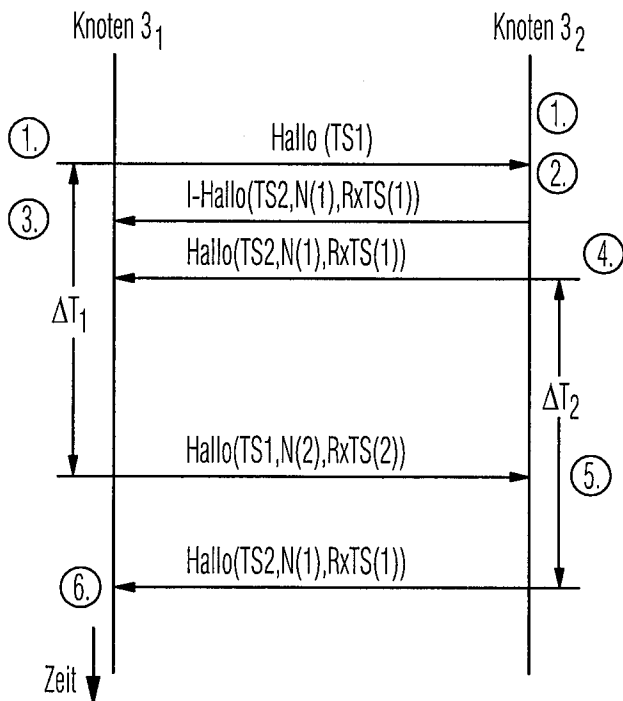


Fig. 2

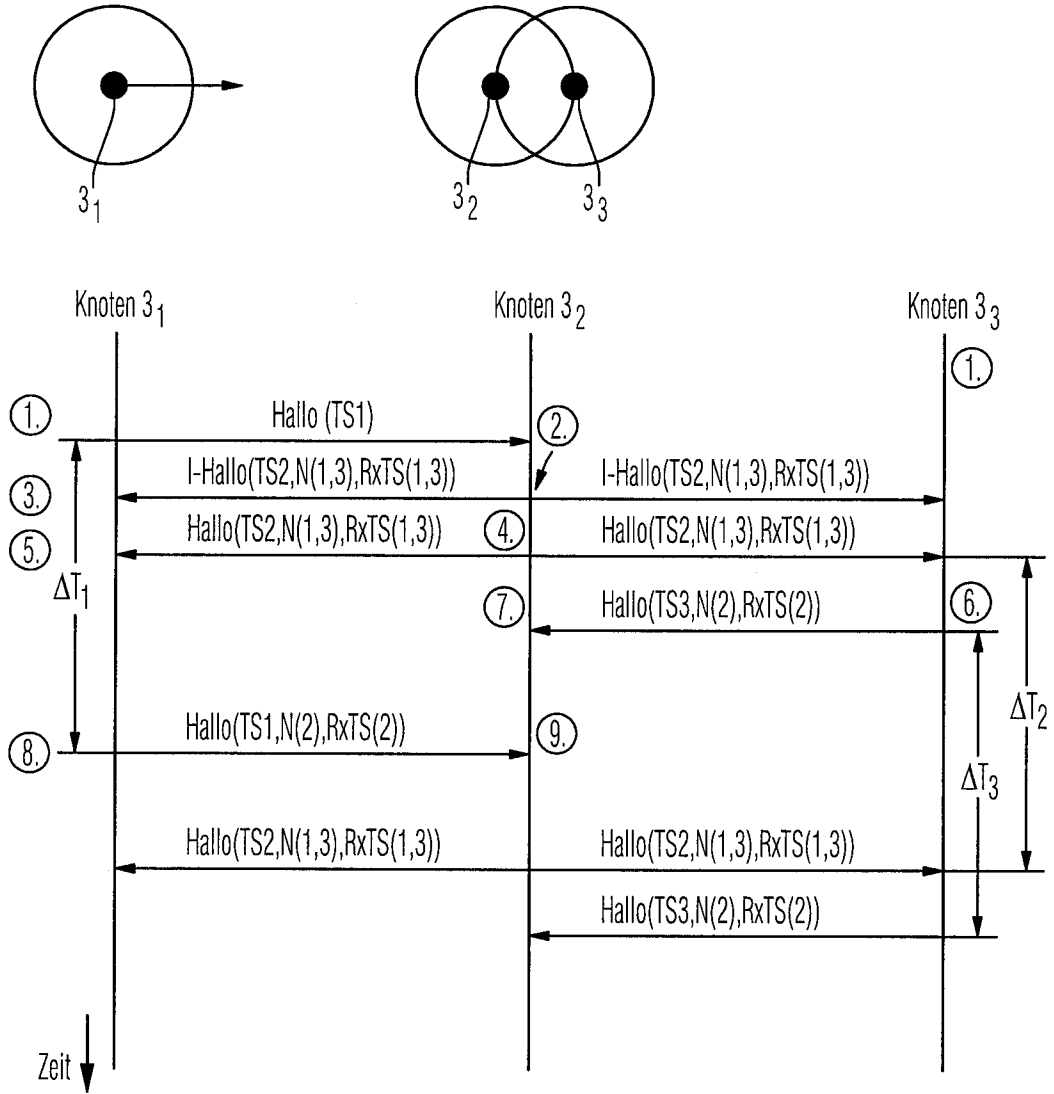


Fig. 3

3/9

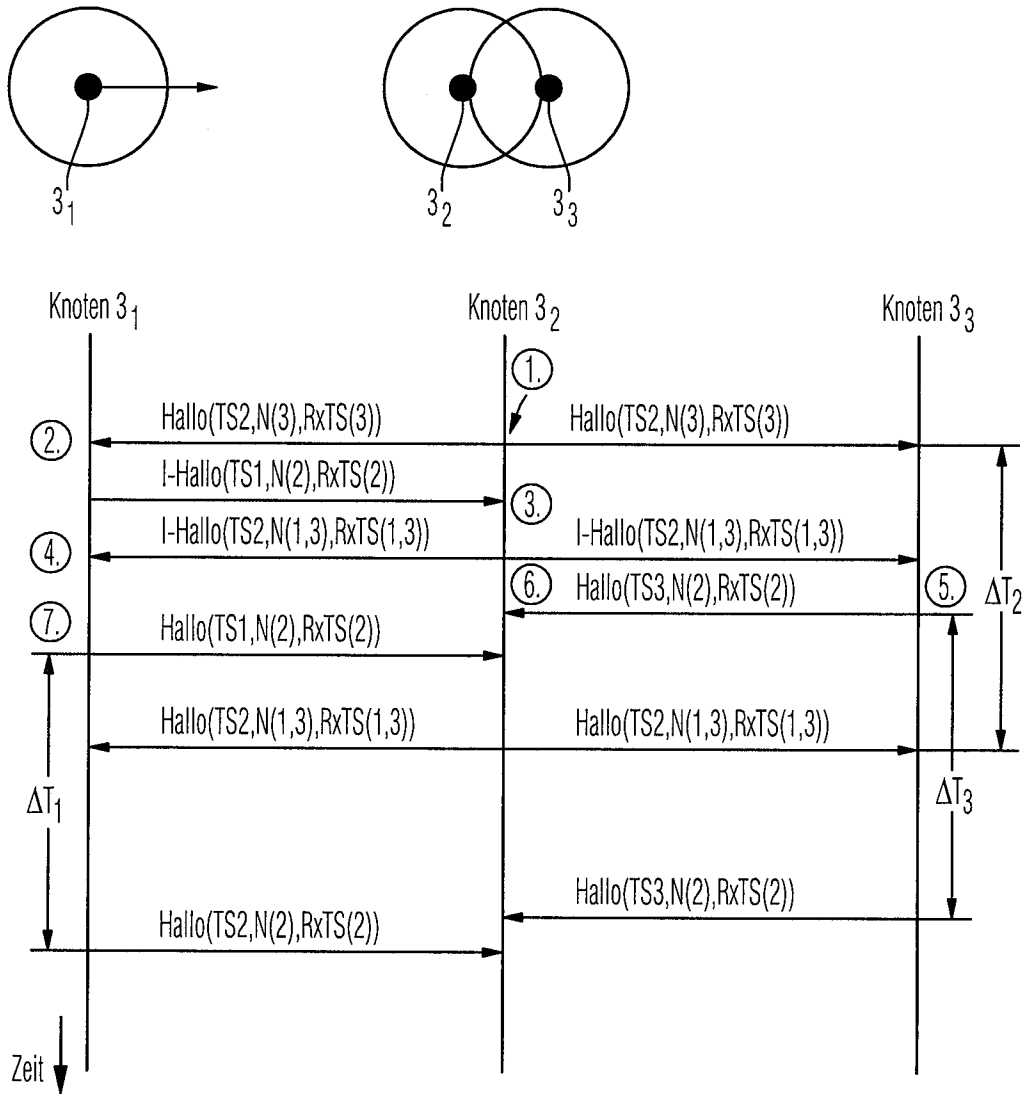


Fig. 4

4/9

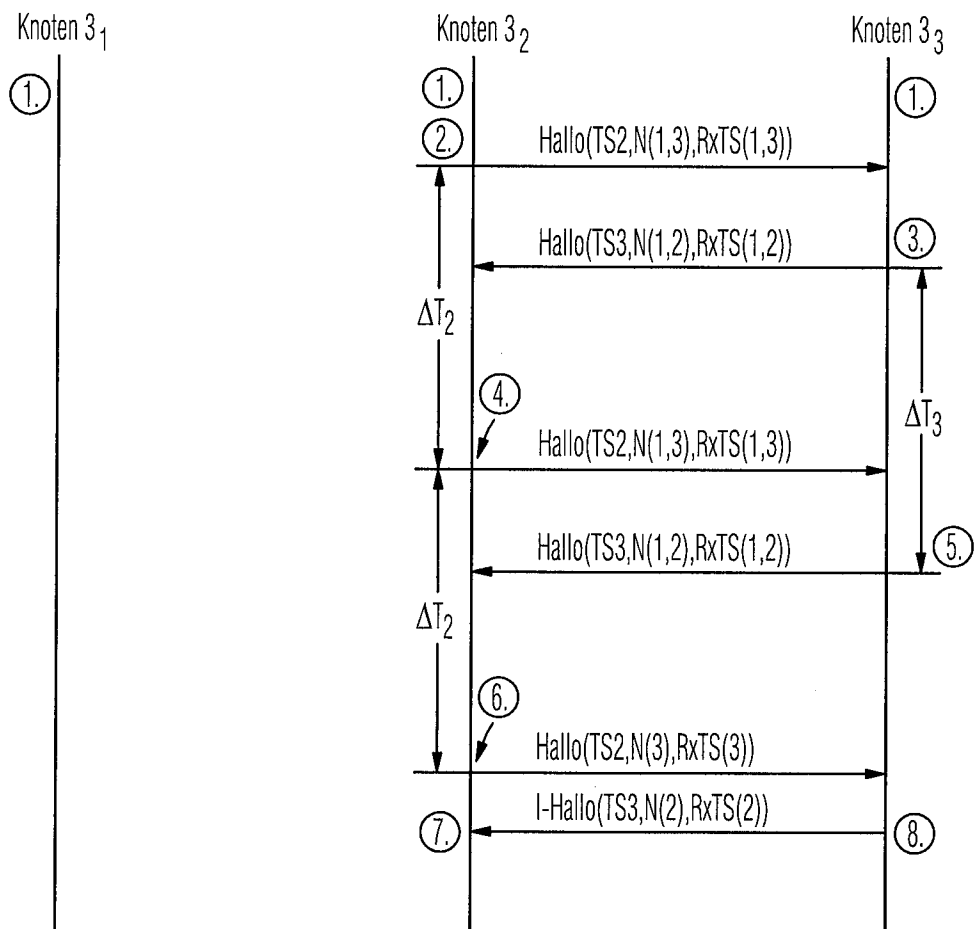
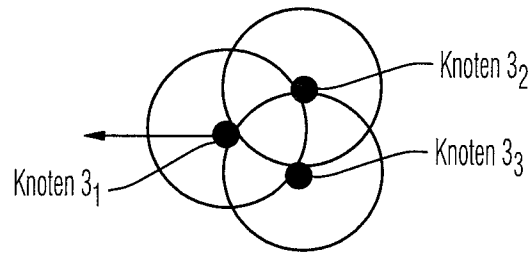


Fig. 5

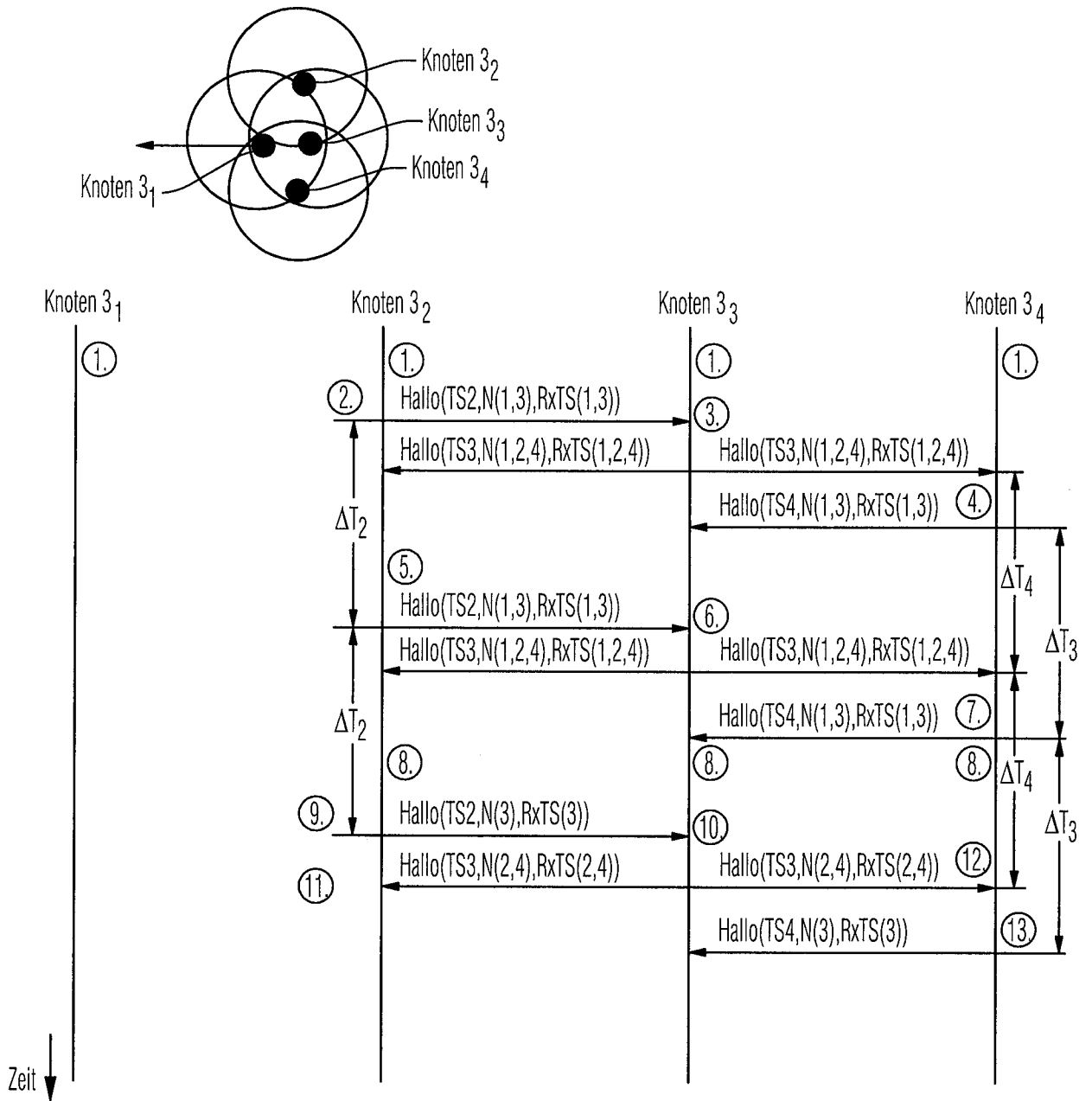


Fig. 6

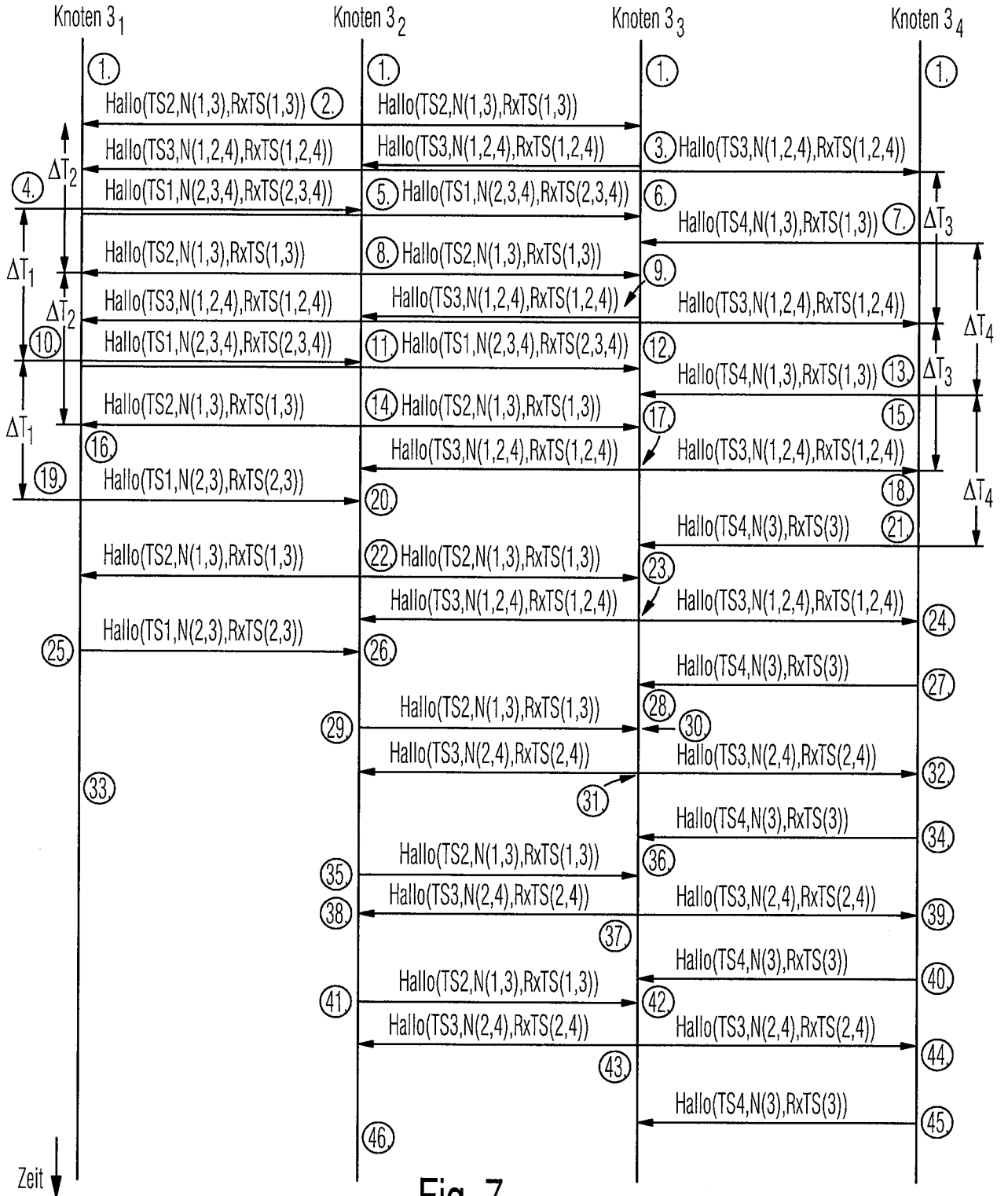
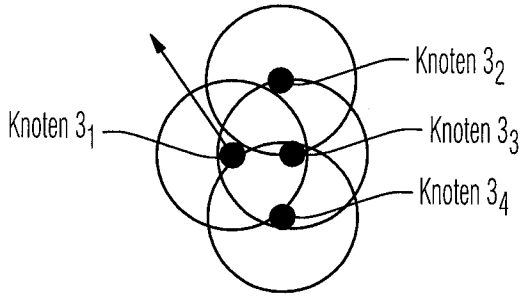


Fig. 7

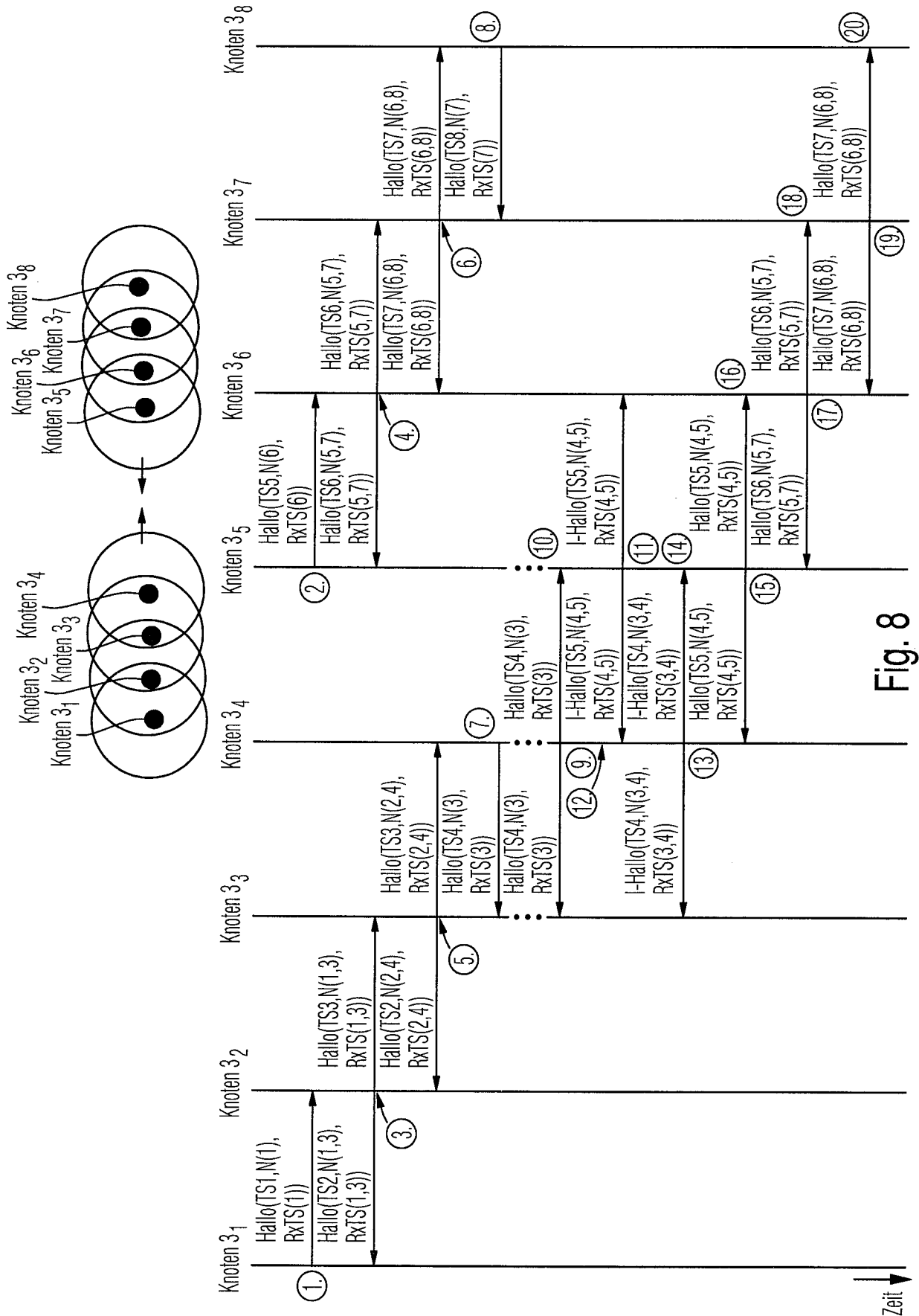


Fig. 8

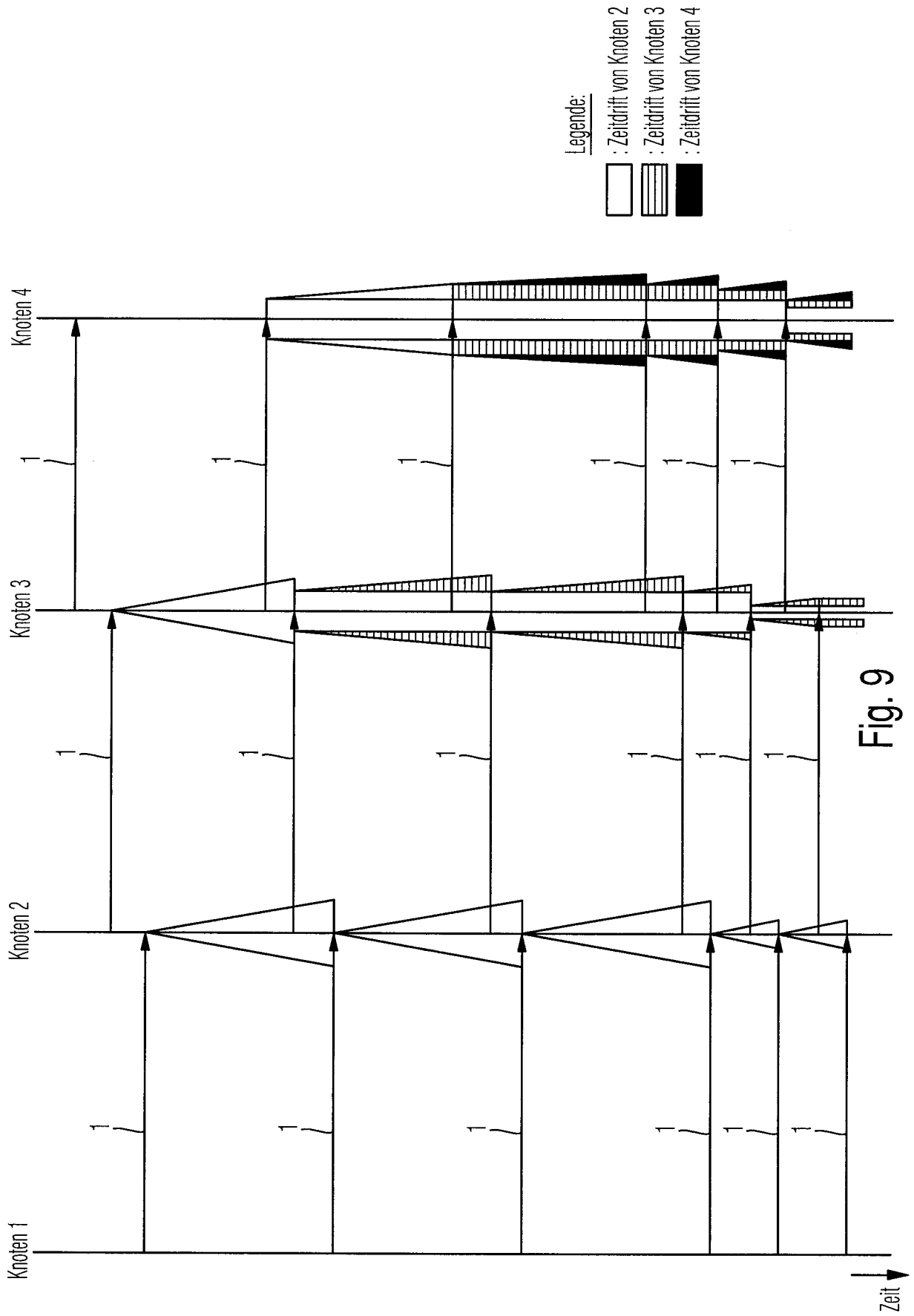


Fig. 9

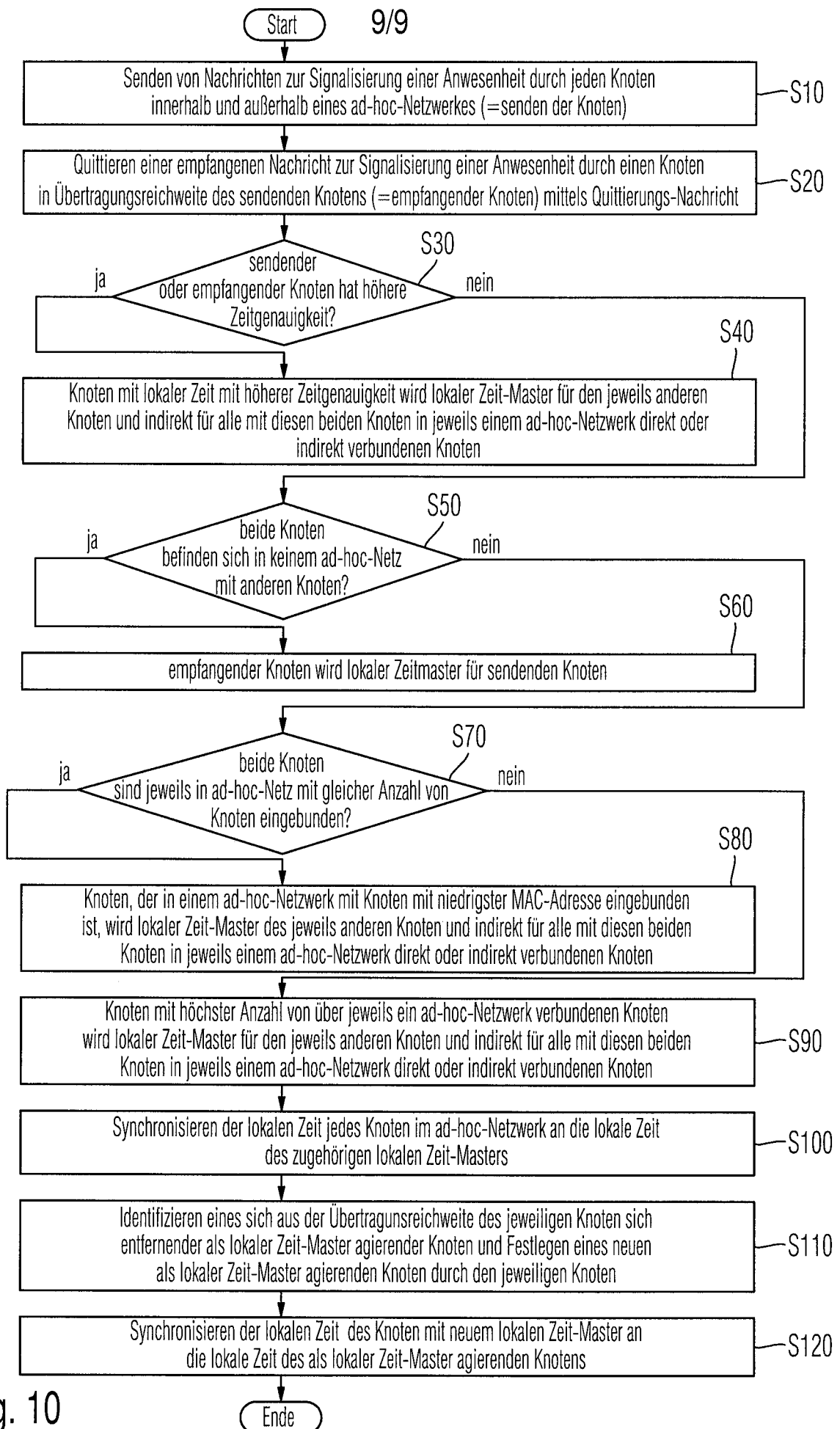


Fig. 10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2013/056552

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. H04W56/00  
ADD.  
  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H04W

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| X         | SICHITIU M L ET AL: "Simple, accurate time synchronization for wireless sensor networks",<br>2003 IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE RECORD : 16 - 20 MARCH 2003, NEW ORLEANS, LOUISIANA, USA, IEEE OPERATIONS CENTER, PISCATAWAY, NJ, vol. 2, 16 March 2003 (2003-03-16), pages 1266-1273, XP010639949,<br>DOI: 10.1109/WCNC.2003.1200555<br>ISBN: 978-0-7803-7700-4 | 1-14,17               |
| Y         | columns 4-11  | 15                    |
| Y         | -----<br>US 2010/157975 A1 (IN JEONG-SIK [KR] ET AL) 24 June 2010 (2010-06-24)  | 15                    |
| A         | abstract; figures 4,5<br>paragraphs [0042] - [0069]<br>-----<br>-/--  | 1,17                  |

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

|   |  |
|---|--|
| Date of the actual completion of the international search<br><br>13 June 2013 | Date of mailing of the international search report<br><br>21/06/2013 |
|---|--|

|  |  |
|--|--|
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Authorized officer<br><br>Esbri, Oriol |
|--|--|

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No  
 PCT/EP2013/056552

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
| A  | WO 2011/154911 A1 (DEFENDEC INC [EE];<br>PREDEN JUERGO-SOEREN [EE]; UUSJAERV MADIS<br>[EE]) 15 December 2011 (2011-12-15)<br>cited in the application<br>pages 7-14 | 1-17                  |
| A  | -----<br>US 2010/238890 A1 (MO SHAOMIN [US] ET AL)<br>23 September 2010 (2010-09-23)<br>cited in the application<br>paragraphs [0042] - [0089]                      | 1-17                  |
| A  | -----<br>US 2005/169233 A1 (KANDALA SRINIVAS [US]<br>ET AL) 4 August 2005 (2005-08-04)<br>cited in the application<br>paragraphs [0028] - [0045]                    | 1,17                  |
| A  | -----<br>US 2003/117991 A1 (BEYER DAVID A [US] ET<br>AL) 26 June 2003 (2003-06-26)<br>cited in the application<br>paragraphs [0031] - [0046]           -----        | 1,17                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/056552

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s)   | Publication date   |
|--|------------------|---|--|
| US 2010157975 A1                       | 24-06-2010       | KR 20100070619 A<br>US 2010157975 A1  | 28-06-2010<br>24-06-2010   |
| -----                                  |                  |   |  |
| WO 2011154911 A1                       | 15-12-2011       | EP 2580935 A1<br>FI 20105658 A<br>US 2013138792 A1<br>WO 2011154911 A1                                      | 17-04-2013<br>11-12-2011<br>30-05-2013<br>15-12-2011                             |
| -----                                  |                  |   |  |
| US 2010238890 A1                       | 23-09-2010       | NONE  |  |
| -----                                  |                  |   |  |
| US 2005169233 A1                       | 04-08-2005       | NONE  |  |
| -----                                  |                  |   |  |
| US 2003117991 A1                       | 26-06-2003       | AU 2002356365 A1<br>CN 1606839 A<br>EP 1456973 A1<br>US 2003117991 A1<br>US 2007127528 A1<br>WO 03055103 A1 | 09-07-2003<br>13-04-2005<br>15-09-2004<br>26-06-2003<br>07-06-2007<br>03-07-2003 |
| -----                                  |                  |   |  |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/056552

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. H04W56/00  
 ADD.  
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE  
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 H04W

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
 EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X          | SICHITIU M L ET AL: "Simple, accurate time synchronization for wireless sensor networks",<br>2003 IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE RECORD : 16 - 20 MARCH 2003, NEW ORLEANS, LOUISIANA, USA, IEEE OPERATIONS CENTER, PISCATAWAY, NJ, Bd. 2, 16. März 2003 (2003-03-16), Seiten 1266-1273, XP010639949,<br>DOI: 10.1109/WCNC.2003.1200555<br>ISBN: 978-0-7803-7700-4 | 1-14,17            |
| Y          | Spalten 4-11  | 15                 |
| Y          | US 2010/157975 A1 (IN JEONG-SIK [KR] ET AL) 24. Juni 2010 (2010-06-24)  | 15                 |
| A          | Zusammenfassung; Abbildungen 4,5<br>Absätze [0042] - [0069]   | 1,17               |
|            | -----<br>-/--   |                    |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

|   |  |
|---|--|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absenddatum des internationalen Recherchenberichts |
| 13. Juni 2013                                       | 21/06/2013   |

|  |   |
|--|---|
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter<br><br>Esbri, Oriol |
|--|---|

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |   |                    |
|---|---|--------------------|
| Kategorie*  | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
| A   | WO 2011/154911 A1 (DEFENDEC INC [EE];<br>PREDEN JUERGO-SOEREN [EE]; UUSJAERV MADIS<br>[EE]) 15. Dezember 2011 (2011-12-15)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Seiten 7-14 | 1-17               |
| A   | -----<br>US 2010/238890 A1 (MO SHAOMIN [US] ET AL)<br>23. September 2010 (2010-09-23)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze [0042] - [0089]                          | 1-17               |
| A   | -----<br>US 2005/169233 A1 (KANDALA SRINIVAS [US]<br>ET AL) 4. August 2005 (2005-08-04)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze [0028] - [0045]                        | 1,17               |
| A   | -----<br>US 2003/117991 A1 (BEYER DAVID A [US] ET<br>AL) 26. Juni 2003 (2003-06-26)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze [0031] - [0046]<br>-----                   | 1,17               |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/056552

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie   | Datum der<br>Veröffentlichung  |
|--|-------------------------------|---|--|
| US 2010157975 A1                                   | 24-06-2010                    | KR 20100070619 A<br>US 2010157975 A1  | 28-06-2010<br>24-06-2010   |
| WO 2011154911 A1                                   | 15-12-2011                    | EP 2580935 A1<br>FI 20105658 A<br>US 2013138792 A1<br>WO 2011154911 A1                                      | 17-04-2013<br>11-12-2011<br>30-05-2013<br>15-12-2011                             |
| US 2010238890 A1                                   | 23-09-2010                    | KEINE   |  |
| US 2005169233 A1                                   | 04-08-2005                    | KEINE   |  |
| US 2003117991 A1                                   | 26-06-2003                    | AU 2002356365 A1<br>CN 1606839 A<br>EP 1456973 A1<br>US 2003117991 A1<br>US 2007127528 A1<br>WO 03055103 A1 | 09-07-2003<br>13-04-2005<br>15-09-2004<br>26-06-2003<br>07-06-2007<br>03-07-2003 |