

Vom Fachbereich für Mathematik und Informatik
der Technischen Universität Braunschweig

genehmigte Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

Autor:

Horst Hellbrück

Titel:

**Analytische und Simulationsbasierte
Verfahren zur Konnektivitätsbestimmung
und -verbesserung von Ad-Hoc-Netzen**

Referent:
Koreferent:
Eingereicht am:
Promotion am:

Prof. Dr. Stefan Fischer
Prof. Dr. Norbert Luttenberger
19. Februar 2004
19. Juli 2004

Berichte aus der Telematik

Horst Hellbrück

**Analytische und simulationsbasierte
Verfahren zur Konnektivitätsbestimmung
und -verbesserung von Ad-Hoc-Netzen**

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3142-0

ISSN 0948-700X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Stand der Technik	6
1.3	Aufbau der Arbeit	6
2	Verwandte Arbeiten	9
2.1	Zufallsgraphen und Perkolationstheorie	9
2.2	Evaluation von Routing-Protokollen	12
2.3	Roboter Planungsalgorithmen	14
2.4	Abdeckungsgrad in Sensornetzen	15
2.5	SHM – Selbstheilendes Minenfeld	15
2.6	Mobilität zum Transport von Daten	16
3	Analytische Untersuchungen	17
3.1	Begriffsbildung	17
3.2	Konnektivität	18
3.3	Übertragungsmodell	20
3.4	Netzwerk mit zwei Knoten	23
3.5	Erweiterung auf drei Knoten	26
3.6	Erweiterung auf beliebige Anzahl von Knoten	28
3.7	Anzahl der Nachbarn eines Netzwerkknottens	29
3.8	Grenzen der analytischen Betrachtung	29

4	Bewegungsmodelle	31
4.1	Klassifikation der Bewegungsmodelle	32
4.2	Random–Direction (RD)	33
4.2.1	Unterklasse: Gauß–Markov–Modell	34
4.2.2	Bewegungsfreiheitsgrad – Begrenzungsflächen und Hindernisse	35
4.2.3	Spezialfall Manhattan–Grid	37
4.2.4	Bewegungsfreiheitsgrad – graphbasiert	38
4.2.5	Spezifische Eigenschaften	39
4.2.6	Zusammenfassung RD	41
4.3	Random–Waypoint (RW)	41
4.3.1	Bewegungsfreiheitsgrad – Begrenzungsflächen und Hindernisse	42
4.3.2	Bewegungsfreiheitsgrad – graphbasiert	42
4.3.3	Spezifische Eigenschaften	42
4.3.4	Unterklasse: Normalverteilung der Zielpunkte (RWG)	53
4.3.5	Zusammenfassung RW	53
4.4	Exponential–Correlation–Random (ECR)	54
4.5	Reference–Point–Group–Modell (RPGM)	55
4.6	Zusammenfassung	57
5	ANSim	59
5.1	Ziele und Anforderungen an den Simulator	60
5.2	Existierende Lösungen und deren Bewertung	60
5.3	ANSim Übersicht	64
5.4	Details der Funktionsweise von ANSim	65
5.4.1	Statischer Modus	65
5.4.2	Modus mit beweglichen Netzwerkknoten	66
5.4.3	Begrenzungsflächen und Hindernisse	67
5.4.3.1	Abprallen im Falle Random–Direction	67
5.4.3.2	Pfadermittlung im Falle Random–Waypoint	67
5.4.4	Validierung des verwendeten Zufallszahlen–Generators	69

5.4.5	Erhebung der statistischen Daten – Auswertung der Momentaufnahmen	71
5.5	Ein- und Ausgabeparameter	73
5.6	Visualisierung	74
5.7	Konfigurationsdateien	76
6	ANSim–Simulationen zur Konnektivität	79
6.1	Statische Ad–Hoc–Netze	79
6.1.1	Erste Versuchsreihe: Vermeidung von Randeffekten	80
6.1.2	Zweite Versuchsreihe: Einfluss der Randeffekte	86
6.1.3	Dritte Versuchsreihe: Einfluss von Hindernissen	87
6.1.4	Zusammenfassung	94
6.2	Ad–Hoc–Netze mit beweglichen Netzwerkknoten	94
6.2.1	Netz mit zwei Knoten	96
6.2.2	Netz mit 50 Knoten	99
6.3	Beispielhafte Anwendung der Ergebnisse	105
6.4	Zusammenfassung	108
7	Bewegliche Infrastrukturrknoten	109
7.1	Fehlende Konnektivität	109
7.2	Verbesserung der Konnektivität - Das Konzept der beweglichen Infrastruktur	111
7.2.1	Der Nutzen des Netzwerks	112
7.2.2	Ableitung der Kostenfunktion	116
7.2.3	Ein einfacher reaktiver Algorithmus zur dynamischen Ortswahl	118
7.2.4	Realistische Betrachtungen - Eingeschränkte Verfügbarkeit der Positionsinformationen	122
7.3	Verbesserung des Algorithmus zur dynamischen Ortswahl	125
7.3.1	Erste Verbesserung: Proaktive dynamische Ortswahl	125
7.3.2	Zweite Verbesserung: MultiLink	127
7.4	Vergleich mit alternativen Definitionen der Konnektivität	129
7.5	Ergebnisse mit verschiedenen Bewegungsmodellen	129

7.6	Diskussion der Komplexität und Skalierbarkeit	132
7.7	Zusammenfassung	133
8	Prototypische Implementierung mit <i>ns2</i>	135
8.1	Vergleich der Positionsdienste	135
8.1.1	DREAM	136
8.1.2	Quorum-basierter Positionsdienst	137
8.1.3	Gitterbasierter Positionsdienst (GLS)	137
8.1.4	Homezone-Positionsdienst	138
8.2	Auswahlkriterien	139
8.3	MILE-Protokoll Implementierung in <i>ns2</i>	140
8.4	Anbindung ANSim – <i>ns2</i>	142
8.4.1	Bewegungsdaten	142
8.4.2	Algorithmus zur dynamischen Ortswahl	145
8.5	Simulationen	148
8.6	Netzwerkbelastung durch MILE-Protokoll	153
8.7	Zusammenfassender Vergleich ANSim und <i>ns2</i>	155
9	Zusammenfassung und Ausblick	157
A	Begriffe und Abkürzungen	161
A.1	Begriffe	161
A.2	Abkürzungen	162
B	Abschätzung der positionsabhängigen Größe von $a'(x,y)$	165
C	Mathematica Validierung des transienten Startverhaltens	169
D	ANSim Implementierung	173
D.1	Statische Simulationen	173
D.1.1	Klassenreferenz main.Node	173
D.1.2	Klassenreferenz main.Scenes	175
D.2	Simulationen mit beweglichen Netzwerkknoten	178

D.2.1	Klassenreferenz main.MobileNode	178
D.2.2	Klassenreferenz main.MobileScenes	180
D.2.3	Klassenreferenz main.Mobility	181
D.3	Simulationen mit beweglichen Infrastrukturknoten	183
D.3.1	Klassenreferenz main.MobileRobotNode	183
D.3.2	Klassenreferenz main.MobileRobotScenes	185
D.4	Anbindung an das GUI	186
D.4.1	Klassenreferenz main.ANSim	186
D.4.2	Klassenreferenz main.ANSimApplet	187
D.4.3	Klassenreferenz main.MainFrame	187
D.5	Syntax der Konfigurationsdatei	189
D.6	Konfigurationsdatei zur Modellierung des Campus IU	192
E	Vertrauensbereiche der ANSim-Simulationen	195
E.1	Statische Szenarien	195
E.2	Szenarien mit beweglichen Netzwerkknoten	197
F	MILE Implementierung in ns2	201
F.1	Implementierung des Positionsdienstes MILE und die Anbindung an ANSim	201
F.1.1	Klassenreferenz MILEAgent	201
F.1.2	Klassenreferenz MILELocationTableIterator	204
F.1.3	Klassenreferenz MILEUpdateTimer	205
F.1.4	Klassenreferenz MILEPosAlgTimer	205
F.2	Simulations-Script in Tcl	206
Literatur		217

Abbildungsverzeichnis

1.1	Darstellung eines Ad-Hoc-Netzes mit <i>links</i> und <i>relays</i>	2
2.1	Darstellung eines Graphens mit fünf Knoten und drei Kanten	10
2.2	Bedingte Wahrscheinlichkeiten der <i>links</i> durch Geometrie	11
2.3	Klassifikation der Routing-Protokolle und Auswahl von Beispielen gemäß [82]	13
3.1	Illustration der Begriffe aus der Graphentheorie	18
3.2	Vergleich der verschiedenen Definitionen von Konnektivität eines Ad-Hoc-Netzes	20
3.3	Skizzierung des Modells	21
3.4	Freifeldmessungen eines <i>links</i> für 802.11b	22
3.5	Positionsabhängige Größe von $a'(x_0, y_0)$ durch Schnittmengenbildung von $a(x_0, y_0)$ und A	24
3.6	Pfad mit Länge zwei: Details zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten	27
4.1	Komplexe Wege zusammengesetzt aus atomaren Bewegungen	31
4.2	Klassifikation der Bewegungsmodelle	32
4.3	Klassifikation der Bewegungsmodelle nach Bewegungsfreiheitsgrad	33
4.4	Atomare Bewegung des Random-Direction-Modells	34
4.5	Resultierender Weg des Gauß-Markov-Modells	35
4.6	Knoten N_i wird bei Erreichen der Begrenzungsfläche neu zufällig positioniert und bewegt	36

4.7	Knoten tritt an gegenüberliegender Seite wieder in die Fläche A ein.	36
4.8	Beweglicher Knoten prallt an Begrenzungsfläche A ab	37
4.9	Manhattan-Grid-Modell	37
4.10	Graphbasiertes Bewegungsmodell gemäß [97].	38
4.11	Statistisch ermittelte räumliche Knotenverteilung des Random-Direction-Modells	39
4.12	Atomare Bewegung des Random-Waypoint-Modells	41
4.13	Statistisch ermittelte räumliche Knotenverteilung des Random-Waypoint-Modells ohne Pausenzeit	43
4.14	Berechnungsverfahren der räumlichen Knotenverteilung des RW-Modells	43
4.15	Berechnung der Knotenverteilung des RW-Modells bei rechteckiger Fläche $A = 3000\text{ m} \cdot 1000\text{ m}$; $v = 5\text{ m/s}$	44
4.16	Systemmodell zur Bestimmung des stationären Zustands des Bewegungsmodells	46
4.17	Vergleich Simulation und Berechnung des stationären Endzustands	47
4.18	Knotenverteilung der Anfangsphase des RW-Modells bei quadratischer Fläche $A = 1000\text{ m} \cdot 1000\text{ m}$; $v = 1\text{ m/s}$	49
4.19	Knotenverteilung der Anfangsphase des RW-Modells bei kreisrunder Fläche $D = 1000\text{ m}$; $v = 1\text{ m/s}$	50
4.20	Knotenverteilung der Anfangsphase des RW-Modells bei quadratischer Fläche $A = 1000\text{ m} \cdot 1000\text{ m}$; $v = [0, 2; 1]\text{ m/s}$	51
4.21	Statistisch ermittelte räumliche Knotenverteilung des RWG-Modells	54
4.22	Illustration des ECR-Modells	55
4.23	Illustration des Reference-Point-Group-Modells	56
4.24	Bewegungsvektoren des Reference-Point-Group-Modells	56
5.1	Abgrenzung Szenario und <i>snapshot</i> /Momentaufnahme	59
5.2	Ereignisgesteuerte Methode	61
5.3	<i>ns2</i> -Knoten	62
5.4	<i>ns2</i> Blockdiagramm	63

5.5	Zentrale ANSim Objekte	64
5.6	Kürzester Pfad zwischen zwei Punkten unter Berücksichtigung polygonaler Hindernisse	68
5.7	Reduktion der relevanten Wegpunkte für kürzesten Pfad am Beispiel eines sternförmigen Hindernisses und eines unregelmäßigen Polygons	69
5.8	Spanning Tree -Algorithmus von ANSim	72
5.9	Benutzeroberfläche des Simulationswerkzeugs ANSim	75
5.10	Wirkung des <i>extension</i> -Parameters	76
5.11	ANSim-Ausgabe bei Verwendung einer Konfigurationsdatei	77
6.1	Konnektivität $P(E_{con}^{i,j})$ über Flächen-Abdeckungsgrad α_A	81
6.2	Detailansicht der Konnektivität $P(E_{con}^{i,j})$ über Flächen-Abdeckungsgrad α_A	82
6.3	Illustration der Komponenten, die einen Beitrag zur Kalkulation des Flächen-Abdeckungsgrads α_A liefern	82
6.4	Beispiel eines Pfades bei einem Abdeckungsgrad $\alpha_A = 8$	84
6.5	Erwartungswert der Hops sowie die Konnektivität für steigenden Abdeckungsgrad ($r = 250\text{ m}$)	85
6.6	Konnektivität $P(E_{con}^{i,j})$ über mittlere Anzahl Nachbarn	85
6.7	Notwendige Anzahl der Nachbarn für Konnektivität bei verschiedenen Flächenformen	87
6.8	Zwei unterschiedliche Versuchsreihen mit Hindernissen	88
6.9	Ergebnis der Versuchsreihen mit größer werdendem Hindernis	89
6.10	Platzierung rechteckiger Hindernisse innerhalb einer quadratischen Begrenzungsfläche bei gleich bleibender Gesamtfläche der Hindernisse	91
6.11	Maximale Abstände d zur Vermeidung von Engpässen	91
6.12	Ergebnis der Versuchsreihen mit mehreren Hindernissen	92
6.13	Manhattan-Grid-Muster erlaubt nur Pfade in gleichen Gassen oder über Kreuzungen	93
6.14	Vergleich der Konnektivität von statischen Netzen und Netzen mit beweglichen Knoten	96
6.15	Wahrscheinlichkeitsdichte der möglichen Verbindungsdauer für zwei Knoten	97

6.16 Abschätzung der möglichen Verbindungsdauer in einem Ad-Hoc-Netz aus zwei Knoten	98
6.17 Wahrscheinlichkeitsdichte der möglichen Verbindungsdauer für 50 Knoten	99
6.18 Ausschnitt eines Ad-Hoc-Netzes mit fünfzig Knoten zur Abschätzung der Dauer von Verbindungen (hier zwischen N_5 und N_6)	100
6.19 Wahrscheinlichkeitsdichte der möglichen Dauer einer Verbindung bei unterschiedlichen Bewegungsmodellen	101
6.20 Mittlere mögliche Verbindungsdauer über der Konnektivität für verschiedene Bewegungsmodelle mit gleicher <i>relativen Mobilität</i>	103
6.21 Bestimmung der Parameter der Näherungslösung für Random-Direction und Gauß-Markov-Bewegungsmodell	104
6.22 Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauer einer Verbindung: Vergleich der Näherung mit den Simulationsergebnissen	105
6.23 Anwendungsbeispiel Messe : ANSim-Visualisierung und Ergebnisse	107
7.1 Abnehmende Konnektivität mit sinkender Anzahl der Knoten (Random-Waypoint $v=[0,4;2,0]$ m/s)	110
7.2 N_{R1} ermöglicht einen Pfad von Quelle N_S zum Ziel N_D	112
7.3 Definition der Distanz zwischen Knotengruppen	115
7.4 Wert der Nutzenfunktion eines MANET-Netzes mit zehn Knoten	117
7.5 Relative Kostenfunktion	118
7.6 Verbesserung der Konnektivität durch die bewegliche Infrastruktur - Reaktiver Algorithmus	121
7.7 Die drei Phasen der Positionsvorhersage	122
7.8 Verbesserung der Konnektivität durch die bewegliche Infrastruktur - Eingeschränkte Verfügbarkeit der Positionsinformationen	124
7.9 Verbesserung der Konnektivität durch die bewegliche Infrastruktur - proaktiver Algorithmus	126
7.10 Infrastrukturknoten N_{R0} kann keinen Pfad zwischen den drei Knoten N_0 , N_1 und N_2 herstellen	128
7.11 Infrastrukturknoten N_{R0} erzeugt Pfade zwischen den drei Knoten N_0 , N_1 und N_2	128

7.12	Verbesserung der Konnektivität durch die bewegliche Infrastruktur - Potential der MultiLink-Erweiterung	130
7.13	Verbesserung der Konnektivität für alternative Definitionen der Konnektivität	131
7.14	Verbesserung der Konnektivität durch die bewegliche Infrastruktur bei Verwendung des Gauß-Markov-Modells	132
8.1	DREAM Distanz Effekt	136
8.2	Grid-Positionsdiensnt	138
8.3	Illustration der <i>Homezone</i>	139
8.4	Gemeinsames Beschreibungsformat für Bewegungen der Knoten	142
8.5	Datenstruktur des Beschreibungsformats für Bewegungen der Knoten	143
8.6	Anbindung der ANSim-Klassen an <i>ns2</i> über TCP-Brücke .	146
8.7	Internes Protokoll über die TCP-Brücke	147
8.8	<i>ns2</i> : Verbesserung der Konnektivität – zeitliche Darstellung	149
8.9	ANSim: Verbesserung der Konnektivität – zeitliche Darstellung	150
8.10	Einbrechen des Durchsatzes unabhängig vom Positionsdiensnt und beweglicher Infrastruktur	151
8.11	Einbrechen des Durchsatzes durch Pfadwechsel des Routing-Protokolls	152
8.12	ANSim Pfadwechsel bei 120 s	152
8.13	<i>ns2</i> : Knotenkonstellation mit Pfad eins bei 120 s	153
8.14	<i>ns2</i> : Knotenkonstellation mit Pfad zwei bei 120 s	153
8.15	Vergleich der Verkehrsaufkommen	154
B.1	Positionsabhängige Größe von $a'(x_0, y_0)$ durch Schnittmengenbildung von $a(x_0, y_0)$ und A	165
B.2	Untersuchte Formen der Begrenzungsfläche A	166
B.3	Abweichung vom Schätzwert 0,75 der mittleren Größe der Fläche a' für verschiedene untersuchte Flächenformen A	167
C.1	<i>ListPlot[transfer]</i>	170
C.2	<i>Plot[zTransfer, {z, 1, 2}]</i>	170

C.3	<i>ListPlot[resultlist, PlotRange $\rightarrow \{0, 0.06\}$]</i>	171
D.1	Vererbungsdiagramm main.Node	174
D.2	Vererbungsdiagramm main.Scenes	175
D.3	Kollaborationsdiagramm main.Scenes	175
D.4	Kollaborationsdiagramm main.MobileNode	179
D.5	Vererbungsdiagramm main.Mobility	182
D.6	Kollaborationsdiagramm main.MobileRobotNode	183
D.7	Kollaborationsdiagramm main.ANSim	186
D.8	Kollaborationsdiagramm main.ANSimApplet	187
D.9	Kollaborationsdiagramm main.MainFrame	188
E.1	Empirische Häufigkeitsdichte Verteilungen $P(E_{con}^{i,j})$ im statischen Fall	196
E.2	Empirische Häufigkeitsdichte Verteilungen $P(E_{con}^{i,j})$ im Szenario mit beweglichen Knoten	199
F.1	Vererbungsdiagramm MILEAgent	202
F.2	Kollaborationsdiagramm MILEAgent	203

Tabellenverzeichnis

4.1	Eingabeparameter zur Untersuchung der Anfangsphase des RW-Modells für verschiedene Begrenzungsflächen	45
6.1	MANET-Ausgangsszenario als Eingabe-Parametersatz der Simulation zur Abschätzung der Konnektivität im statischen Fall	80
6.2	Berechnung des Abdeckungsgrades für einen von vier Quadranten gemäß der Bezeichnung in Abbildung 6.3	83
6.3	Eingabe-Parametersatz der Simulation zur Abschätzung des Einflusses von Hindernissen im statischen Fall	88
6.4	MANET-Ausgangsszenario als Eingabe-Parametersatz der Simulation zum Vergleich der statischen und beweglichen Szenarien	95
6.5	Zusammenfassende Simulationsergebnisse für Ad-Hoc-Netze mit 50 beweglichen Netzwerkknoten gemäß Tabelle 6.4	100
6.6	Gleiche Konnektivität und Verbindungsdauer trotz unterschiedlicher Anzahl von Knoten; restliche Eingabeparameter siehe Tabelle 6.4	106
7.1	Ausgangsszenario mit isolierten Knotengruppen	115
7.2	G_1 und G_2 sind vereinigt	115
7.3	G_3 und G_4 sind vereinigt	116
8.1	Paketformat eines MILE-Update-Pakets	140
8.2	Format einer MILE Positionsinformation	141
E.1	Eingabe-Parameter der Simulation zur Abschätzung der Genauigkeit im statischen Fall	196

E.2	Statistische Kenngrößen zur Abschätzung der Genauigkeit für 100/50000 Wiederholungen im statischen Fall.	197
E.3	Eingabe-Parameter der Simulation zur Abschätzung der Genau- igkeit im Fall beweglicher Knoten	198
E.4	Statistische Kenngrößen zur Abschätzung der Genauigkeit für 100/50000 Wiederholungen im Fall beweglicher Knoten	200

Danksagungen

Zurückschauend auf die letzten drei Jahre ist es nicht einfach, die passenden Worte zu finden, da es wirklich viele liebe Menschen gibt, die mich in dieser Zeit unterstützt haben.

Zuerst bedanke ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Stefan Fischer, der mir die Möglichkeit eröffnet hat, diese Arbeit zu schreiben. Er hat mir stets die Freiheit gelassen, eigene Ideen zu entwickeln und war gleichzeitig ein kritischer Beobachter. Ich bin überzeugt, dass es für mich keinen besseren Doktorvater gegeben hätte.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Luttenberger, der bereitwillig das Koreferat übernommen hat. Seine sehr fundierten Anmerkungen und kritischen Bemerkungen trugen ebenfalls sehr zur Verbesserung der Arbeit bei.

Die Arbeit wäre nicht zustande gekommen ohne die Diskussionsrunden unter meinen Kollegen Andreas Eberhart, Ulrich Walther, die stets ein offenes Ohr für mich hatten. Weiterhin bedanke ich mich bei allen Kollegen der School of IT in Bruchsal für ihre mannigfaltige Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt Thomas Fliegner für das eifrige Korrekturlesen, das beständige Interesse an meiner Tätigkeit und den mathematischen Feinschliff.

Zuletzt gilt mein Dank meiner lieben Karin, die mir mit unseren Kindern durch ganz Deutschland gefolgt ist und nie müde wurde, meine Kapriolen zu ertragen. Ich danke Dir für die ständige Motivation und Unterstützung im privaten Umfeld. Ihr widme ich diese Arbeit.

Für die notwendige Ablenkung sorgten in erster Linie unsere beiden Kinder Sven und Annika.

Karlsdorf/Bruchsal/Braunschweig, im Februar 2004

Liste der Veröffentlichungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden in verschiedenen wissenschaftlichen Konferenzen [39, 40, 41] veröffentlicht:

HELLBRÜCK, H. ; FISCHER, S. : Ansätze zur Analyse und Simulation von Ad-Hoc Netzwerken. In: *Lecture Notes in Informatics: Erster Deutscher Workshop über Mobile Ad-Hoc-Netzwerke (WMAN2002)*. Ulm, Deutschland, März 2002, S. 7–27

HELLBRÜCK, H. ; FISCHER, S. : Towards Analysis and Simulation of Ad-Hoc Networks. In: *Proceedings of the 2002 International Conference on Wireless Networks (ICWN02)*. Las Vegas, Nevada, USA, Juni 2002, S. 69–75

HELLBRÜCK, H. ; FISCHER, S. : Increasing Connectivity of Ad-Hoc Networks. In: *Informatik aktuell: 13. Fachtagung Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS 2003)*. Leipzig, Deutschland, Februar 2003, S. 207–218