

# Eine Protokollumgebung für Peer-to-Peer Dokumentenaustausch in infrastrukturlosen mobilen Umgebungen

Christoph Lindemann, Oliver P. Waldhorst

Universität Dortmund

Informatik IV

-Rechnersysteme und Leistungsbewertung-

August-Schmidt-Staße 12

44227 Dortmund

<http://www4.cs.uni-dortmund.de/~Lindemann/>

**Abstract:** Dieses Paper stellt zwei neuartige Konzepte für eine Protokollumgebung für den Peer-to-Peer Dokumentenaustausch in infrastrukturlosen Systemen von mobilen Endgeräten vor: Passiv verteiltes Indexieren (PDI) und Asynchrone Dokumentenübertragungen (ADT). PDI ermöglicht den Aufbau eines selbstorganisierenden Index von populären Inhalten ohne explizite Übertragung von Indexeinträgen. ADT gewährleistet die effiziente Übertragungen von Dokumenten zwischen zwei nicht durchgängig verbundenen Knoten mit Hilfe eines verteilten Pufferspeichers. Wir präsentieren erste Simulationsstudien, welche die Leistungsfähigkeit des passiven verteilten Indexieren unterstreichen.

**Schlagworte:** Software Plattformen (Middleware) für Mobile Ad-Hoc Anwendungen, Skalierbarkeit und Simulationen.

## 1. Einleitung

Der technische Fortschritt im Bereich der Mikroelektronik erhöht die Verfügbarkeit von Computern in jedem Bereich des menschlichen Lebens. Preiswerte Notebooks sowie leistungsfähige Personal Digital Assistants ermöglichen den Zugriff auf komplexe Datenmengen und deren computergestützte Bearbeitung zu jeder Zeit und an jedem Ort. Mobile Zugangstechnologien, wie z.B. UMTS, ermöglichen den Zugang zum Internet von nahezu überall. Trotzdem befinden sich schon heute mehr als 55% aller in digitaler Form verfügbaren Informationen nicht auf öffentlichen WWW Servern, sondern auf Rechnern für den persönlichen Gebrauch.

Ausgestattet mit Schnittstellen zur drahtlosen Kommunikation über kurze Distanzen können mobile Rechner spontane selbstorganisierende Kommunikationsstrukturen, z.B. sogenannter *Mobile Ad-Hoc Netze* (MANETs [CM99]) bilden. Diese Strukturen können für innovative digitale Anwendungen [Ba010], z.B. *Computer Supported Cooperative Learning* (CSCL) und *-Work* (CSCW) genutzt werden. Solche Anwendungen können die

auf den mobilen Endgeräten verteilte Datenmenge effektiv nutzen. Um die Zusammenarbeit in solchen Umgebungen zu ermöglichen, werden Mechanismen zur Suche nach relevanten Dokumenten und zur Übertragung von Dokumenten benötigt, sogenannte Dokumentenaustauschsysteme.

Ein vielversprechender Ansatz für den Dokumentenaustausch im Festnetz stellt die sogenannte *Peer-to-Peer Technologie* dar. Ein Peer-to-Peer System für den Dokumentenaustausch ist verteilt, selbstorganisierend und mehr oder weniger dezentralisiert. Verschiedene Lösungen für den Peer-to-Peer Dokumentenaustausch im Festnetz wurden vorgestellt. Die derzeit populärsten sind *Napster* [Na01], das *Gnutella Protokoll* [Cl01] und *Morpheus* [Mo01]. Laufende Forschungsarbeiten an den Bausteinen von Peer-to-Peer Systemen, z.B. die Einführung von Peer-to-Peer Global Storage Werkzeugen wie *PAST* [RS01], werden die Entwicklung ausgereifterer Lösungen weiter beschleunigen. Das Protokoll *7DS* [PS01] bildet einen ersten Ansatz, die erfolgreiche Peer-to-Peer Technologie in infrastrukturlose mobile Umgebungen zu portieren. 7DS ermöglicht das Browsen im WWW ohne Verbindung zum Internet, wobei die notwendigen Daten mit Hilfe des Dokumentenaustauschs zwischen einzelnen Knoten bereitgestellt werden. Alle existierenden Lösungen für Peer-to-Peer Dokumentenaustausch benötigen Verbindungen zwischen den beteiligten Knoten. In infrastrukturlosen mobilen Systemen jedoch kann das Bestehen von Verbindungen nicht zu jeder Zeit garantiert werden. Die Entwicklung von Methoden für die Dokumentensuche und den Dokumentenaustausch, die fähig sind, dem Ausfall von Verbindungen entgegenzutreten, stellt deswegen eine wissenschaftliche Herausforderung dar.

Dieses Paper stellt zwei neuartige Konzepte für eine Protokollumgebung für den Peer-to-Peer Dokumentenaustausch in infrastrukturlosen Systemen von mobilen Endgeräten vor: Passiv verteiltes Indexieren (PDI) und Asynchrone Dokumentenübertragungen (ADT). Die vorgestellte Protokollumgebung kann die Unterbrechung von Verbindungen effektiv kompensieren. PDI ist eine betriebsmittelsparende Methode zum Aufbau eines Index von populären Inhalten, der verteilt auf die mobilen Knoten gespeichert ist. Dieser Index ermöglicht die Suche nach Dokumenten, auch wenn sich diese auf Knoten befinden, zu denen zum Zeitpunkt der Suche keine Verbindung vorhanden ist. PDI ermöglicht also den Aufbau eines selbstorganisierenden Index von populären Inhalten ohne explizite Übertragung von Indexeinträgen. ADT gewährleistet die effiziente Übertragungen von Dokumenten zwischen zwei nicht durchgängig verbundenen Knoten mit Hilfe eines verteilten Pufferspeichers. Wir präsentieren erste Simulationsstudien, welche die Leistungsfähigkeit des passiven verteilten Indexieren unterstreichen.

Dieses Paper ist wie folgt gegliedert. Kapitel 2 gibt einen Überblick über bestehende Lösungen für den Peer-to-Peer Dokumentenaustausch im Festnetz und in mobilen Umgebungen. Kapitel 3 stellt die innovativen Such- und Übertragungsdienste unserer Protokoll-Umgebung vor. Kapitel 4 präsentiert erste Leistungskurven für das Konzept des passiven verteilten Indexierens. Abschließend werden zusammenfassende Anmerkungen gegeben.

## 2. Bekannte Systeme für den Peer-to-Peer Dokumentenaustausch

Die meisten Systeme für den P2P Dokumentenaustausch bieten Unterstützung für die stichwortbasierte Suche nach Dokumenten. Um diese Funktionalität zu unterstützen, wird ein Index benötigt, der einem Stichwort eine Menge von Dokumenten zuordnet. Heutige Peer-to-Peer Systeme verwenden verschiedene Ansätze, um einen solchen Index zur Verfügung zu stellen, die sich im Grad ihrer Zentralisierung unterscheiden. *Napster* [Na01] benutzt einen zentralisierten Index, der von einem zentralen Index Server verwaltet wird. Der Index liefert nur Treffer für Dokumente, die sich auf Knoten befinden, welche zur Zeit mit dem Index Server verbunden sind.

Zentralisierte Ansätze wie *Napster* weisen geringe Antwortzeiten auf, solange die Kapazität des Index Servers hinreichend groß ist. Die Fehlertoleranz und Skalierbarkeit zentralisierter Systeme ist beschränkt, weil die Funktionsfähigkeit des gesamten Systems von der Verfügbarkeit des Index Servers abhängt. Insbesondere Suchoperationen können nur von Knoten durchgeführt werden, die mit dem Index Server verbunden sind. Die Übertragung eines Dokuments erfordert sogar eine direkte Verbindung zwischen zwei Knoten.

Im Gegensatz zu *Napster* basiert das *Gnutella Protokoll* [Cl01] auf einem vollständig dezentralisierten Such-Algorithmus. Anfragen werden von Knoten zu Knoten weitergegeben. Ein Zähler für die Anzahl der Weiterleitungen einer Anfrage verhindert dabei die Bildung von Kreisen. Dezentralisierte Systeme wie *Gnutella* bieten einen hohen Grad an Fehlertoleranz, weil ihre Funktionsfähigkeit nicht von der Verbindung zu einem einzelnen Knoten abhängt. Trotzdem erfordert der Such-Algorithmus, dass jeder Knoten eine Verbindung zu mindestens einem benachbarten Knoten aufrecht erhält.

Einige existierende Systeme, z.B. *Morpheus* [Mo01], bieten hybride Lösungen zwischen zentralisierten und dezentralisierten Suchverfahren. *Morpheus* benutzt leistungsstarke Knoten mit hoher Bandbreite als sogenannte *Super Nodes*. Diese speziellen Knoten sind verantwortlich dafür, einen Index für eine Menge herkömmlicher Knoten in ihrer Nachbarschaft bereitzustellen. Analog zu *Napster* und *Gnutella* hängt auch die Funktionalität von *Morpheus* vom Bestehen bestimmter Verbindungen ab, in diesem Fall von Verbindungen zwischen herkömmlichen Knoten und *Super Nodes*.

Wegen des stark gestiegenen Interesses in *Napster*, *Gnutella* und *Morpheus* gewinnen P2P Dokumentenaustauschsysteme im Festnetz zunehmend an Bedeutung. Auf den ersten Blick scheint es intuitiv, die im Festnetz erfolgreiche P2P Technologie in den Kontext infrastrukturloser mobiler Systeme zu transferieren. Trotzdem ist zur Zeit ihr Einfluss in mobilen Systemen eher begrenzt. Einen ersten Ansatz, P2P Technologien in mobile Umgebungen zu übertragen ist das Protokoll *7DS* [PS01]. *7DS* unterstützt den Datenaustausch zwischen Knoten, die nicht notwendigerweise mit dem Internet verbunden sind. *7DS* führt verteilte Suchen mittels einer Multicast Übertragung von Suchanfragen durch, wobei jeder Knoten empfangene Anfragen an andere Knoten weiterleitet. Jeder Knoten entscheidet anhand seines aktuellen Energiestatus, in wie weit er am Dokumentaustausch teilnimmt. Das Ziel von *7DS* ist es, das Browsen in WWW Inhalten ohne Verbindung zum Internet zu ermöglichen. Deshalb bietet *7DS* keine

Unterstützung für die Dokumenten-Suche und -Übertragung für den Fall, dass zwei Knoten getrennt werden.

Fast alle Lösungen für die P2P Dokumentenübertragung im Festnetz und in mobilen Umgebungen benötigen Verbindungen zwischen beteiligten Knoten oder anderen Netzelementen. Ein Bestehen derartiger Verbindungen kann in infrastrukturlosen mobilen Umgebungen nicht garantiert werden. Deshalb ist die Behandlung von unterbrochenen Verbindungen in Systemen zum Dokumentenaustausch in infrastrukturlosen mobilen Umgebungen ein spannendes Forschungsthema. Lösungen müssen andere Charakteristiken von mobilen Geräten berücksichtigen, z.B. sich verändernde Positionen der Knoten, unterschiedliche Bandbreiten und beschränkte Betriebsmittel, z.B. CPU Leistung, Haupt- und Plattenspeicher und Energie. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen muss ein Dokumentenaustauschsystem für infrastrukturlose mobile Umgebungen folgende Fragestellungen lösen:

- Wie kann ein verteilter Index auf den mobilen Knoten mit beschränkten Betriebsmitteln realisiert werden, der die Suche nach Dokumenten auch auf unverbundenen Knoten unterstützt?
- Wie können Dokumente zwischen mobilen Knoten ausgetauscht werden, auch wenn einer oder beide der Knoten temporär keine Verbindung zum Rest des Netzes haben?

Im folgenden Abschnitt stellen wir zwei Schlüsselkonzepte für eine Protokollumgebung vor, welche die effiziente Suche nach Dokumenten und deren Austausch in infrastrukturlosen mobilen Systemen unter der Berücksichtigung nicht dauerhaft bestehender Verbindungen ermöglicht. Diese Konzepte bezeichnen wir als *Passives Verteiltes Indexieren* (*Passive Distributed Indexing, PDI*) und *Asynchrone Dokumentenübertragungen* (*Asynchronous Document Transfers, ADT*).

### **3. Neuartige Konzepte für den Dokumentenaustausch in infrastrukturlosen mobilen Umgebungen**

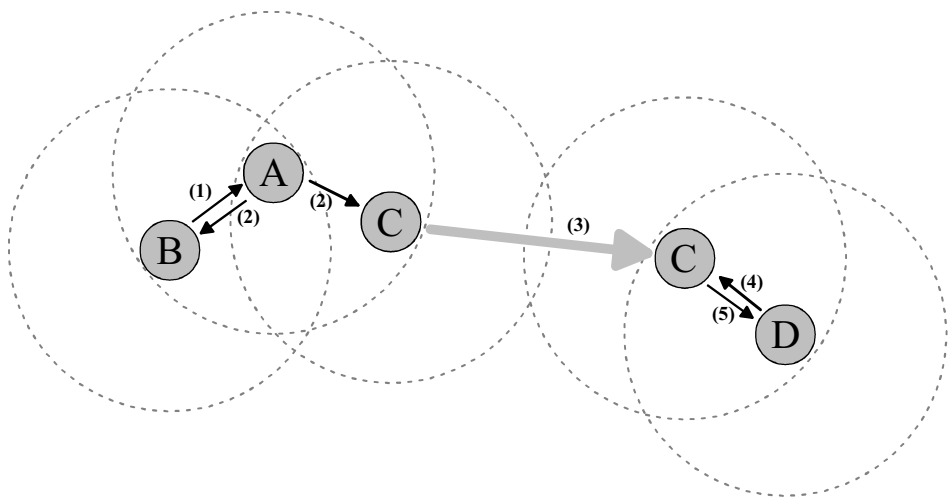
#### **3.1 Passives verteiltes Indexieren**

Um die Suche nach Dokumenten auf nicht dauerhaft verbundenen Knoten in einer infrastrukturlosen, mobilen Umgebung zu ermöglichen, erstellt und verwaltet die vorgestellte Protokollumgebung einen Index populärer Inhalte, der auf die einzelnen Knoten des Ad-Hoc Netzes verteilt ist. Der Aufbau eines verteilten Index in einer hochgradig mobilen Umgebung aus betriebsmittelbeschränkten Endgeräten birgt zahlreiche Schwierigkeiten. Die Beschränkungen begrenzen die Möglichkeiten zum Aufbau eines vollständigen Index in zweierlei Hinsicht: Zum einen würde die Übertragung eines Index aller Daten, die sich auf einem Knoten befinden, an einen verteilten Index einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der verfügbaren Energie erfordern. Das gilt insbesondere in dem Fall, dass nur ein kleiner Teil der auf einem

Knoten gespeicherten Daten zur Beantwortung von typischen Suchanfragen benötigt wird. Zum zweiten würde das Empfangen der kompletten Indexdaten vieler anderer Knoten schnell die Speicherkapazität eines einzelnen Knotens sprengen.

Die vorgestellte Protokollumgebung bietet das Konzept des *passiven verteilten Indexierens* (*Passive Distributed Indexing, PDI*) als effektive Lösung für beide Probleme. Die Basis für PDI ist die Multicast Übertragung von Suchanfragen und den zu ihnen passenden Antworten. Alle Knoten in einem System warten auf Übertragungen von Antworten auf Suchanfragen, auch dann, wenn sie selber keine Anfrage gestellt haben. Alle Referenzen auf Dokumente, die in einer Antwort enthalten sind, werden für alle Suchbegriffe in der entsprechenden Anfrage in einem lokalen Index gespeichert. Dort können sie dann für die Beantwortung zukünftiger Anfragen weiter genutzt werden.

Um die Einflüsse einer beschränkten Reichweite der drahtlosen Kommunikation zu kompensieren, untersuchen wir in aktuellen Arbeiten die Mechanismen zur Übertragung von Suchanfragen und Antworten durch Weiterleitung über mehrere Knoten. Dabei können Suchanfragen mit ähnlichen Techniken übertragen werden, mit denen reaktive Routingverfahren für mobile Ad-Hoc Netze wie *Dynamic Source Routing (DSR, [JM94])* oder *Ad-Hoc On-demand Distance Vector Routing (AODVR, [PR99])* Kontrollnachrichten zum Aufbau von Routing-Informationen übertragen. Diese Techniken gewährleisten, dass Anfragen effizient jeden Knoten im Netz erreichen. Für das Weiterleiten von Antworten müssen hingegen fundamental andere Techniken entwickelt werden. So muss zum Beispiel vermieden werden, dass nicht identischen Antworten, die mit Hilfe der lokalen Indexe verschiedener Knoten generiert wurden, mehrfach von einem Knoten weitergeleitet werden. Ein Ansatz ist hier, nur diejenigen Teile von Antworten weiterzuleiten, die nicht bereits im lokalen Index eines Knotens verzeichnet waren.



**Abbildung 1: Veranschaulichung der Funktionsweise des PDI Verfahrens**

Um die an einem Knoten vorhandene Speicherkapazität sparsam zu verwenden, schlagen wir die Verwendung *inkrementeller Indexe* [TGS94] vor. Dies sind Indexe, die in Verbindung mit *Indexkomprimierung* [NM98] schrittweise erweitert werden können. Des Weiteren begrenzen wir die maximale Anzahl von Einträgen im lokalen Index. Ist die maximale Anzahl von Einträgen erreicht, werden alte Einträge nach dem Least-Recently-Used Prinzip ersetzt. PDI repliziert implizit Antworten auf häufig gestellte Anfragen an vielen Knoten und nutzt so automatisch die in Anfrageströmen auftretenden Lokalitäten aus. So können häufig gestellte Anfragen mit niedriger Latenzzeit von vielen Knoten beantwortet werden, auch wenn diese keine auf die Anfrage passenden Dokumente selbst besitzen.

Die Funktionsweise von PDI soll anhand von Abbildung 1 veranschaulicht werden. Hier sind vier Knoten *A* bis *D* einer infrastrukturlosen mobilen Umgebungen mit der Reichweite ihrer Karten für drahtlose Kommunikation als gestrichelter Kreis dargestellt. Nachrichten zwischen Knoten werden als schwarze Pfeile dargestellt, graue Pfeile symbolisieren Knoten-Bewegungen.

Nehmen wir zum Beispiel an, dass Knoten *A* ein Dokument besitzt, dass zu einer von Knoten *B* gestellten Suchanfrage (Schritt 1) passt. *A* generiert eine Antwort und überträgt diese mittels Multicast an *B* (Schritt 2). Knoten *C*, der sich ebenfalls im Empfangsbereich von *A* befindet, empfängt gleichfalls die Multicast Übertragung und speichert ihren Inhalt in seinem lokalen Index (Schritt 2). Daraufhin bewegt sich *C* aus dem Empfangsbereich von *A* in den Empfangsbereich von *D* (Schritt 3). Stellt nun *D* die gleiche Anfrage wie zuvor *B* (Schritt 4), kann *C* stellvertreten für *A* eine Antwort generieren (Schritt 5).

### 3.2 Asynchrone Dokumentenübertragung

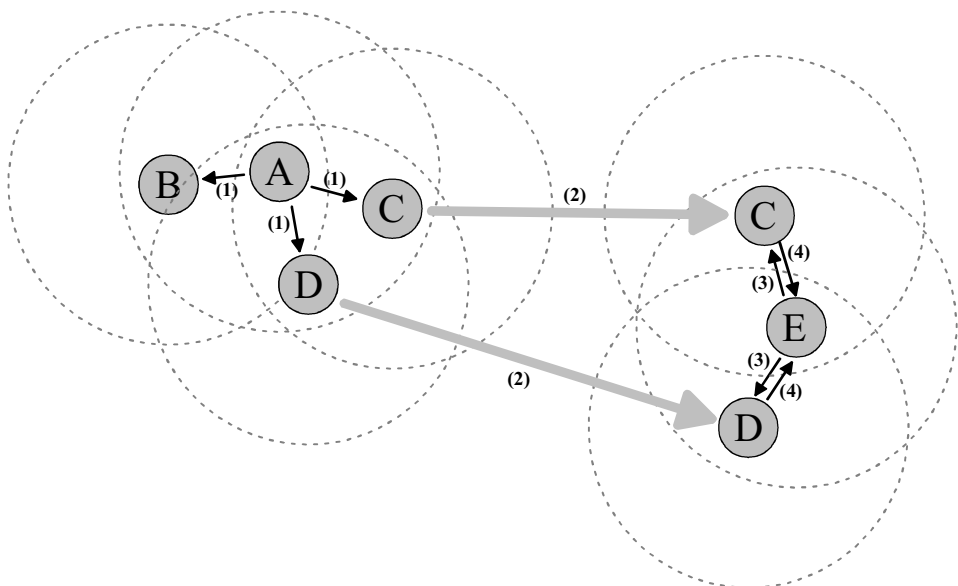
Hat ein Benutzer unterstützt durch PDI ein für ihn interessantes Dokument gefunden, wird er als nächsten Schritt typischerweise eine Dokumentenübertragung initiieren. Die Eigenschaft von PDI, Treffer in Dokumenten festzustellen, die sich auf vom suchenden Knoten aus nicht erreichbaren Knoten befinden, kann dazu führen, dass ein gefundenes Dokument nicht direkt übertragen werden kann. Deshalb ermöglicht unsere Protokollumgebung *asynchrone Dokumentenübertragungen* (*Asynchronous Dokument Transfers*, ADT).

Eine Dokumentenübertragung besteht in der Regel aus zwei Phasen, von denen jede für sich asynchron abgewickelt werden kann. Z.B. kann ein Knoten *B* eine Übertragung eines Dokuments initiieren, das an Knoten *A* beheimatet ist. Wenn zu diesem Zeitpunkt keine Verbindung zwischen *A* und *B* besteht, kann die Anforderung von einem oder mehreren Knoten zwischengespeichert werden. Sobald einer dieser Knoten *B* erreichen kann, kann die Anfrage übergeben werden. Wenn die Anfrage *B* erreicht hat, kann *A* immer noch nicht direkt von *B* aus erreichbar sein. Trotzdem kann *B* die Übertragung starten und diese kann so lange von anderen Knoten zwischengespeichert werden, bis sie von diesen schließlich an *A* weitergegeben wird.

Um das Zwischenspeichern von Dokumentenanforderungen und -übertragungen zu implementieren, verwenden wir verteilte Pufferspeicher. Jeder Knoten in der mobilen, infrastrukturlosen Umgebung trägt Speicher für die verteilten Puffer bei. Dokumentenanfragen sind typischerweise klein, so dass ein Knoten mehrere Anfragen zwischenspeichern kann, ohne einen zu großen Teil seines verfügbaren Speichers aufwenden zu müssen. Also kann eine unerfüllte Anfrage von *A* nach einem Dokument von *E* an vielen Knoten *B*, *C* und *D* gespeichert werden. Es bleibt zu lösen, wie komplette, unter Umständen sehr große Dokumente im Verlauf einer asynchronen Übertragung gepuffert werden können, ohne die Speicherkapazität einzelner Knoten zu überfordern.

Hier untersuchen wir die Verwendung von *Erasure-Resilient Codes* [LU01], die ein Dokument aus  $n$  Blöcken in  $n + c$  Blöcke codieren. Um das Ursprungsdokument wieder herzustellen, reichen  $n + k - c$  beliebige verschiedene Blöcke des codierten Dokuments aus. Überträgt *B* die codierten Blöcke nach einem geeigneten Schema an seine Nachbarn, können diese an *A* übertragen werden, sobald dieser Knoten erreicht werden kann. *A* muss mindestens  $n + c - k$  verschiedene Blöcke einsammeln, bevor das Ursprungsdokument wieder hergestellt werden kann. Durch Experimentieren mit den Parametern  $n$ ,  $c$ ,  $k$  kann die Wahrscheinlichkeit optimiert werden, dass *A* das Ursprungsdokument in zufriedenstellender Zeit rekonstruieren kann.

Abbildung 2 veranschaulicht die asynchrone Übertragung eines Dokuments zwischen den Knoten *A* und *E*. Die Bedeutungen der einzelnen Symbole entsprechen denen in Abbildung 1. Hier startet *A* eine Dokumentübertragung, die mangels Erreichbarkeit von



**Abbildung 2: Veranschaulichung der Funktionsweise der asynchronen Dokumentenübertragung**

$E$  asynchron ausgeführt werden muss.  $A$  codiert das Ausgangsdokument aus 2 Blöcken mit Hilfe eines Erasure-Resilient Codes mit  $n = 2$ ,  $c = 1$  und  $k = 1$  und sendet jeweils einen der resultierenden 3 Blöcke an  $B$ ,  $C$  und  $D$  (Schritt 1). Nach einer Positionsänderung gelangen  $C$  und  $D$  in den Empfangsbereich von  $E$  (Schritt 2), der durch Wiederholen der Anfrage auf sich aufmerksam macht (Schritt 3).  $C$  und  $D$  übertragen die codierten Dokumentblöcke an  $E$  (Schritt 4), so dass  $E$  das Ursprungsdokument rekonstruieren kann.

## 4. Leistungsergebnisse für passiv verteiltes Indexieren

In diesem Kapitel verdeutlichen wir anhand von ersten Studien die Leistungsfähigkeit des passiven verteilten Indexierens. Die Studie soll zunächst die grundsätzliche Verwendbarkeit des Konzepts illustrieren. Deshalb sind viele praktische Gesichtspunkte wie z.B. der erzeugte Energieverbrauch oder die Indexkonsistenz zunächst nicht berücksichtigt.

### 4.1 Simulationsmodell

Für eine erste Leistungsstudie zum Konzept des passiven verteilten Indexieren betrachten wir eine Fläche von  $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ , in der sich 32 Knoten bewegen. Die Bewegung der mobilen Knoten erfolgt entsprechend dem *Random-Waypoint Modell*, das häufig zur Modellierung der individuellen Bewegungen von Fußgängern benutzt wird [Br98]. Jeder mobile Knoten startet an einem zufälligen Startpunkt innerhalb der betrachteten Fläche und bewegt sich zu einem zufällig gewählten Endpunkt. Die Geschwindigkeit eines Knotens ist dabei zufällig zwischen 0 und 1,5 m/s gewählt. Wenn ein Knoten seinen Endpunkt erreicht, verharrt er dort für eine gewisse Zeitspanne, bevor er ein neues Ziel und eine neue Geschwindigkeit auswählt und seine Bewegung wie zuvor fortsetzt.

Zur Evaluierung des PDI beheimatet jeder Knoten 16 Dokumente, für die er den anderen Knoten eine Suchfunktionalität bereitstellt. Dabei ist jedem Dokument  $d_i$  eine zufällige Menge  $K_i \subset \{0, \dots, 511\}$  von Schlüsselworten zugeordnet, wobei sich die Anzahl der Schlüsselworte in  $K_i$  berechnet als  $|K_i| = 512 - (i / 512)$ , d.h. es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen einer Dokumentnummer und der Anzahl der in dem Dokument enthaltenen Schlüsselworte.

Jeder Knoten stellt zu zufällig gewählten Zeitpunkten Anfragen für zufällig gewählte Schlüsselworte und überträgt diese per Multicast an alle erreichbaren Nachbarknoten, die entsprechend Abschnitt 3.1 eine Antwort generieren und versenden. Dabei sind die Zeiten, die zwischen zwei von einem Knoten gestellten Anfragen vergehen, exponentiell mit einem Mittelwert von 2 Minuten verteilt. Die Schlüsselworte werden mit einer Zipf-ähnlichen Verteilung ausgewählt, d.h. für die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Anfrage das Schlüsselwort  $q_i$  angefragt wird, gilt  $\Pr(q=q_i) \approx i^{-\alpha}$  für  $\alpha = 0,8$ . Somit weist der Anfragestrom signifikante Lokalität auf.

| Parameter                                 | Wert            |
|-------------------------------------------|-----------------|
| Fläche                                    | 1000 m × 1000 m |
| Anzahl der Knoten                         | 32              |
| Pausenzeiten                              | 50 s            |
| Maximale Geschwindigkeit                  | 1.5 m/s         |
| Mittlere Wartezeit zwischen zwei Anfragen | 120 s           |
| Simulationszeit                           | 21600 s         |
| Anzahl der Dokumente pro Knoten           | 16              |
| Anzahl der Schlüsselworte                 | 512             |

**Tabelle 1: Parameter der Simulationsstudie**

Zur Durchführung der Experimente benutzten wir den *Network Simulator ns-2* [FV01] mit den Erweiterungen für drahtlose Netze. Das drahtlose Netz wurde mit Hilfe einer IEEE 802.11 WaveLAN Karte betrieben. Wir betrachteten verschiedene Sendeleistungen von  $281.8 / 2^k$  mW,  $k \in \{1, 4, 8\}$  [PS01]. Diese Stärken entsprechen Reichweiten von 230m, 115m und 57,5m, respektive einer Abdeckung von 4%, 1% und 0,2% der Gesamtfläche. Alle Parameter der Simulationsstudien sind noch einmal in Tabelle 1 zusammengefasst.

## 4.2 Leistungskurven

Als erstes Leistungsexperiment betrachteten wir den transienten Verlauf der Summen aller von PDI erzielten Treffer aufsummiert über Zeitintervalle von jeweils 10 Minuten. Wir unterscheiden dabei zwischen *echten* Treffern, d.h. Treffern, die von einem Knoten berichtet wurden, der das ein auf den Suchbegriff passendes Dokument wirklich besitzt, und allen Treffern, in die auch von anderen Knoten berichtete Treffer einbezogen werden. Die Zahl der echten Treffer stellt die Antwortgenauigkeit einer Suche ohne PDI dar.

Abbildung 3 veranschaulicht das Verhältnis zwischen allen Treffern und den echten Treffern anhand seines Einschwingverhaltens. Zur Einordnung der Ergebnisse wurden ebenfalls die Anzahl der auf eine Anfrage erhaltenen Antworten und die maximale Anzahl zu berichtenden Treffern dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Anzahl aller Treffer zu Beginn der Simulation relativ niedrig ist, da noch alle lokalen Indexe leer sind. In den ersten 10 Minuten weicht die Summe aller Treffer kaum von der Summe der echten Treffer ab. Danach steigt die Summe aller Treffer jedoch deutlich an und erreicht zum Ende der Simulation einen Wert, der Faktor 10 über der Zahl der echten Treffer liegt. Hier zeigt sich deutlich das Potential des Konzepts gegenüber der reinen Beantwortung von Anfragen aus dem lokalen Dokumentenspeicher.

Abbildung 4 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Reichweite der mobilen Knoten und der Leistung von PDI. Hier wurde die Summe aller bis zu einem Zeitpunkt

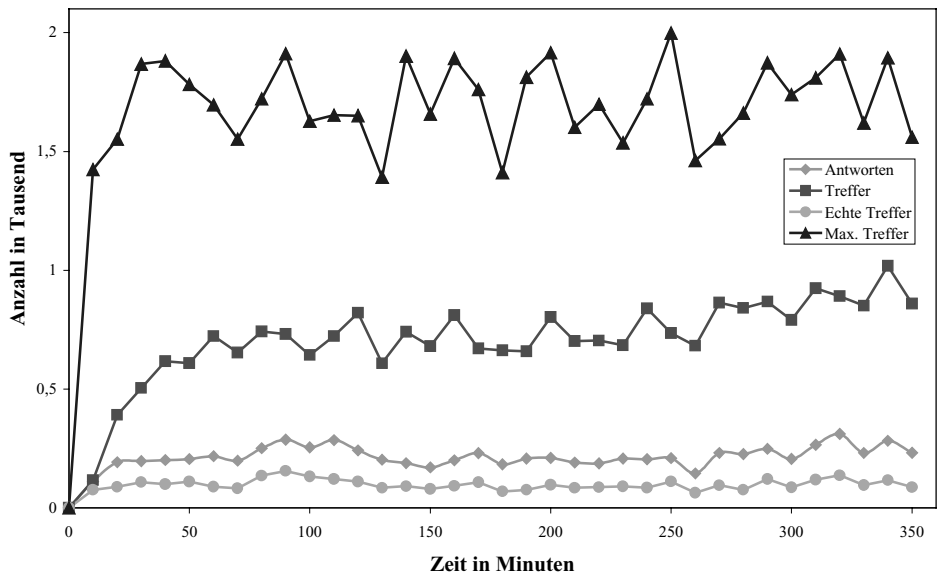


Abbildung 3: Einschwingverhalten der Treffer für eine Reichweite von 115m.

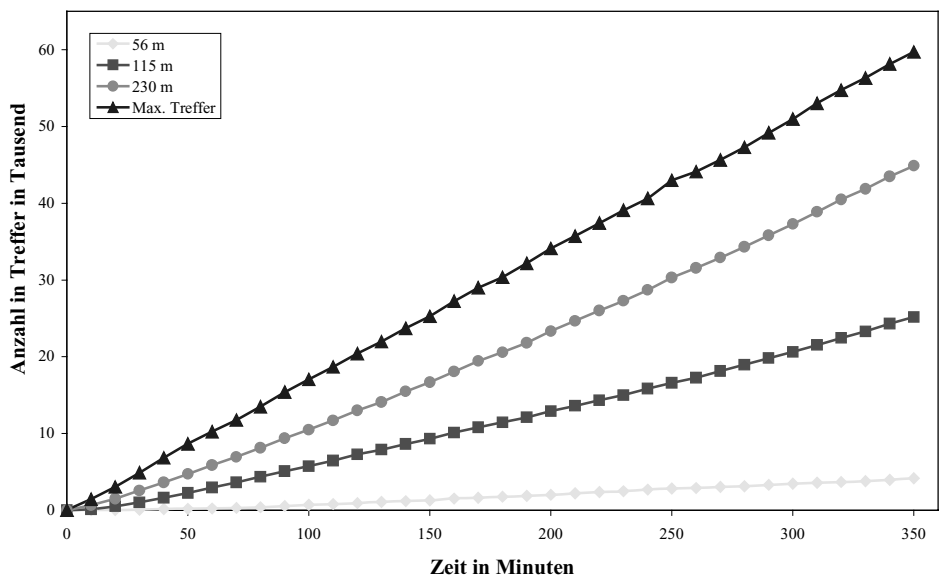


Abbildung 4: Abhängigkeit der Trefferanzahl von der Reichweite der Peer Knoten

erzielten Treffer für die oben genannten Sendeleistungen über der Simulationszeit aufgetragen und mit der Gesamtzahl der bis dahin erreichbaren Treffer verglichen. Dabei zeigt sich, dass bei einer Abdeckung, die unter 4% der insgesamt betrachteten Fläche beträgt, eine Trefferquote von mehr als 66% der möglichen Treffer erreicht werden kann. Für eine Abdeckung von 0,2% der Fläche beträgt die Trefferquote immerhin noch 12%. Zusammenfassend zeigt sich hier, dass PDI eine Suche weit über die Reichweite der drahtlosen Verbindung hinaus durchführen kann.

## 5. Zusammenfassung und weitere Arbeiten

In diesem Papier präsentierten wir die Konzepte einer Protokollumgebung für den Dokumentenaustausch in mobilen Umgebungen. Im Gegensatz zu bekannten Systemen kann die vorgeschlagene Protokollumgebung die für mobile Umgebungen typischen Unterbrechungen von Verbindung effektiv behandeln. Innovative Schlüsselkonzepte der Protokollumgebung sind das passive verteilte Indexieren (PDI) und asynchronen Dokumentübertragungen (ADT). PDI ist ein betriebsmittelsparendes Verfahren zum Aufbau von verteilten Indizes einer verteilten Datenmenge. ADT ist ein Verfahren zur Übertragung von Dokumenten zwischen nicht notwendigerweise verbundenen Knoten. Für PDI wurden erste Leistungskurven präsentiert, welche die Leistungsfähigkeit des Verfahrens veranschaulichen.

In zukünftigen Arbeiten werden die Schlüsselkonzepte PDI und ADT mit detaillierten Simulationsstudien und einer Prototyp-Implementierungen auf einem Testbett untersucht. Für PDI werden zum Beispiel der Einfluss einer veränderten Knotendichte oder von Inkonsistenzen des verteilten Datenbestands beobachtet. Zum Nachweis der praktischen Anwendbarkeit von ADT werden umfassende Leistungsstudien mittels eines Simulators für eine Ad-Hoc Netzumgebung durchgeführt.

## Literaturverzeichnis

- [Ba01] G. Banavar, J. Beck, E. Gluzberg, J. Munson, J. Sussman, and D. Zukowski, Challenges: An Application Model for Pervasive Computing. *Proc. 7th Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000)*, Boston, MA, 266-274, 2000.
- [Br98] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad-Hoc Network Routing Protocols. *Proc. 6th Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 98)*, Dallas, Texas, 1998.
- [CI01] clip2, The Gnutella Protocol Specification v0.4, <http://www.clip2.com/GnutellaProtocol04.pdf>, 2001.
- [CM99] S. Corson and J. Macker, Mobile Ad-hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. *Request for Comments 2501*, Internet Engineering Task Force, 1999.

- [FV01] K. Fall and K. Varadhan, The ns-2 manual. Technical Report, Berkeley University, 2001.
- [HL01] Z. Haas and B. Liang, Ad-Hoc Mobility Management with Randomized Database Groups. *Proc. Int. Conf. on Communications (ICC 99)*, Vancouver, CA, 1999.
- [HLL99] Q. Hu, D. Lee, and W.-C. Lee, Performance Evaluation of a Wireless Hierarchical Data Dissemination System. *Proc. 6th Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99)*, Boston, MA, 163–173, 1999.
- [HR01] U. Hubach and K. Rothermel, Exploiting Location Information for Infostation-Based Hoarding. *Proc. 8th Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001)*, Rome, Italy, 15–27, 2001.
- [JM94] D. Johnson and D. A. Maltz, Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile Computing* (T. Imielinski and H. Korth, eds.), Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [Lu01] M. Luby, M. Mitzenmacher, M. Shokrollahi, and D. Spielman, Efficient Erasure Correcting Codes. *IEEE Transactions on Information Theory* **47**, 569–584, 2001.
- [Ma01] F. Mattern, Pervasive / Ubiquitous Computing. *Informatik Spektrum* **24**, 145–147, 2001.
- [Mo01] The Morpheus File Sharing System, <http://www.musiccity.com>.
- [Na01] Napster Homepage. <http://www.napster.com>
- [NM98] V. Ngoc Ahn and A. Moffat, Compressed Inverted Files with Reduced Decoding overheads. *Proc. 21st Int. Conf. on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR 98)*, Melbourne, Australia, 290–297, 1998.
- [PR99] C. E. Perkins and E. M. Royer, Ad-hoc on demand distance vector routing. *Proc. 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*, New Orleans, LA., 1999.
- [PS01] M. Papadopouli and H. Schulzrinne, Effects of Power Conservation, Wireless Coverage and Cooperation on Data Dissemination among Mobile Devices. *Proc. ACM Symp. on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc 2001)*, Long Beach, CA, 2001.
- [PSW01] M. Parameswaran, A. Susarla, and A. Whinston, P2P Networking: An Information-Sharing Alternative. *IEEE Computer* **34**, 31–38, July 2001.
- [RS01] A. Rowstron and P. Druschel, Storage management and caching in PAST, a large-scale, persistent peer-to-peer storage utility. *Proc. 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'01)*, Chateau Lake Louise, Canada, 2001.
- [TGS94] A. Tomasic, H. Garcia-Molina, and Kurt Shoens, Incremental Updates of Inverted Lists for Text Document Retrieval. *Proc. 1994 Int. Conf. On Management of Data (SIGMOD 94)*, Minneapolis, MN, 289–300, 1994.
- [YG01] B. Yang and H. Garcia-Molina, Comparing Hybrid Peer-to-Peer Systems. *Proc. 27th Int. Conf. on Very Large Data Bases (VLDB 2001)*, Rome, Italy, 561–570, 2001.