



Universität Karlsruhe (TH)

Telecooperation Office (TecO)



Diversifizierte Kommunikation in UbiComp

Diplomarbeit am Institut für Telematik,
Telecooperation Office (TecO),
Universität Karlsruhe (TH)

von

Tobias Zimmer

Betreuer: Prof. Dr. Lars Wolf

Betreuender Mitarbeiter: Dr. Michael Beigl

Tag der Anmeldung: 1. Juli 2001

Tag der Abgabe: 31. Dezember 2001

Ich erkläre hiermit, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen, als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Karlsruhe, 31. Dezember 2001

Inhalt

INHALT	1
1 EINLEITUNG	7
1.1 Motivation	7
1.2 Ziele der Arbeit	10
1.3 Aufbau und Inhalt	11
2 KONTEXT IN UBIQUITOUS COMPUTING	13
2.1 Begriffsklärung: Kontext	13
2.2 Kontextsensitive Anwendungen	14
2.2.1 Von Sensordaten zum Kontext	14
2.2.2 Strukturierung von Kontexten.....	14
2.2.3 Komplexität von Kontexten	16
2.3 Kontext und Kommunikation	17
2.3.1 Kommunikation und Interaktion.....	17
2.3.2 Räumliche Interaktion in Ubicomp Systemen.....	18
2.4 Abbildung von Interaktion: räumlich orientierte Kommunikation	19
2.4.1 Begriffsklärung: Kommunikation und Interaktion	20
2.4.2 Interessensbereich und Kommunikationsbereich	21
2.4.3 Zusammenfassung: Lokationsbasierte Kommunikation.....	21
3 KOMMUNIKATION IN UBIQUITOUS COMPUTING	23

3.1	Anforderungen an Kommunikationssysteme in Ubicomp.....	23
3.1.1	Anzahl der Geräte	24
3.1.2	Räumliche Begrenzung der Kommunikation	24
3.1.3	Mobilität der Artefakte innerhalb von Ubicomp Umgebungen	24
3.1.4	Dynamik der im Kommunikationsbereich befindlichen Artefakte	25
3.1.5	Energiebedarf.....	25
3.1.6	Komplexität der Implementierung.....	26
3.1.7	Kommunikationssysteme für Ubicomp.....	26
3.2	Mobile IP	27
3.2.1	Mobile IP im Überblick.....	27
3.2.2	Discovery Mechanismus.....	29
3.2.3	Registrierung beim Home Agent	29
3.2.4	Datenaustausch mit einem Mobile Node.....	30
3.2.5	Mobile IP und IPv6.....	30
3.2.6	Mobile IP in Ubicomp.....	31
3.2.7	Zusammenfassung und Bewertung.....	31
3.3	Geocast.....	32
3.3.1	GPS basierte Adressierung	32
3.3.2	GeoRouting.....	33
3.3.3	Geocast in Ubicomp.....	34
3.3.4	Zusammenfassung und Bewertung.....	34
3.4	Mobile Ad Hoc Netzwerke.....	35
3.4.1	PEN (Piconet).....	35
3.4.2	Location-Aided Routing (LAR).....	37
3.4.3	Zusammenfassung und Bewertung.....	37
3.5	Smart Dust	38
3.6	Vergleich der vorgestellten Systeme.....	40
3.7	Ergebnisse und Zusammenfassung	41

4	ARCHITEKTUR DES RAUM-SYSTEMS.....	43
4.1	RAUM-Architektur: Lokationsbasierte Kommunikation	43
4.1.1	Lokationsbasierte Kommunikation.....	43
4.1.2	Organisation des Kommunikationssystems.....	44
4.2	Aufbau des Lokationssystems.....	44
4.2.1	Lokationssysteme für Ubicomp	44
4.2.2	RAUM-Lokationssystem.....	45
4.2.3	Lokationsbaum	46
4.3	Schichten des RAUM-Systems.....	49
4.3.1	Kommunikationsschicht	49
4.3.2	Diversifikationsschicht – DiNet.....	50
4.3.3	RAUM-Schicht.....	53
4.3.4	Ereignisschicht.....	53
4.3.5	Anwendungsschicht.....	53
4.4	RÄUME zur Kommunikation.....	54
4.4.1	RAUM.....	54
4.4.2	Form und Kommunikationstyp	54
4.4.3	Zuhörer-RAUM.....	57
4.4.4	Vortragender-RAUM.....	58
4.4.5	Diskussions-RAUM.....	59
4.5	RAUM-Listen	60
4.6	RAUM Operatoren	60
4.6.1	OPEN	60
4.6.2	CLOSE.....	60
4.6.3	ACTIVATE.....	61
4.6.4	DEACTIVATE.....	61
4.6.5	CHANGE.....	61
4.6.6	MOVE.....	61
4.6.7	SEND.....	62
4.7	Kommunikation im RAUM-System.....	62

4 | Inhalt

4.7.1	Auswahl von Kommunikationspartnern.....	62
4.7.2	Direkte Kommunikation zwischen Artefakten.....	63
4.7.3	Kommunikation über Infrastruktur	64
4.8	RAUM-Routing.....	67
4.8.1	Lokation und Interessensbereich eines Routers	68
4.8.2	Routing-RÄUME.....	69
4.9	Zusammenfassung.....	71
5	IMPLEMENTIERUNG DES RAUM-SYSTEMS.....	73
5.1	Designentscheidungen.....	73
5.1.1	RAUM-Referenz-System	73
5.1.2	Hard- und Software.....	74
5.2	Lokationssystem	76
5.2.1	3 zu 2 Kodierung.....	76
5.2.2	ab-Kodierung.....	77
5.2.3	Repräsentation der Lokationsinformation	78
5.2.4	Location Stuffing.....	80
5.3	RAUM-Listen.....	81
5.3.1	R ^c -Liste	81
5.3.2	R ^d -Liste.....	81
5.3.3	Listenfelder im Überblick	82
5.4	RAUM-API und Aufbau der RAUM-Pakete.....	84
5.4.1	Aufbau der RAUM-Pakete	84
5.4.2	API-Funktion: open_raum	86
5.4.3	API-Funktion: close_raum	86
5.4.4	API-Funktion: move_raum.....	87
5.4.5	API-Funktion: send_raum.....	87
5.4.6	API-Funktion: recv_raum.....	87
5.5	Zusammenfassung.....	88

6	EVALUIERUNG IM PRAKTISCHEN EINSATZ	89
6.1	Versuchsaufbau im TecO.....	89
6.1.1	Infrastruktur.....	89
6.1.2	Artefakte und RAUM-Anwendungen	91
6.2	Evaluierung: RAUM-System.....	95
6.2.1	Anzahl der unterstützten Geräte.....	95
6.2.2	Konfiguration des Kommunikationsbereichs	96
6.2.3	Unterstützung mobiler Teilnehmer.....	96
6.2.4	Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises.....	97
6.2.5	Energiebedarf der Grundkommunikation.....	97
6.2.6	Modularität des Systems.....	98
6.2.7	Komplexität der Grundfunktionen.....	98
6.2.8	Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation.....	98
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	99
	Mobile IP.....	100
	Geocast	100
	Mobile Ad Hoc Netzwerke	100
	RAUM-System.....	100
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	103
7.1	Zusammenfassung.....	103
7.2	Ausblick.....	104
	LITERATUR.....	107

1 Einleitung

Thema der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung von Systemen zur Kommunikation in Ubiquitous Computing Umgebungen. Ziel der Ausarbeitung ist die Analyse einer Auswahl bestehender Kommunikationsverfahren im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen.

Besonderes Augenmerk gilt dabei einem neuen Kommunikationssystem für interaktive Räume, dem RAUM-System. Das RAUM-System wurde in dieser Arbeit nicht nur theoretisch behandelt und erweitert, es wurde auch eine Referenzimplementierung dieses Systems entwickelt. Mit Hilfe dieser Implementierung wurde der Einsatz des RAUM-Systems in existierenden Ubiquitous Computing Anwendungen evaluiert.

Diese Einleitung gibt zunächst einen Überblick über das Feld des Ubiquitous Computing und motiviert die Betrachtung der Kommunikation in diesem Bereich, auch hinsichtlich einer Diversifizierung. Im weiteren werden die mit dieser Arbeit verfolgten Ziele aufgezeigt und erörtert. Die Einleitung schließt mit einem Überblick über den weiteren Aufbau und Inhalt der Arbeit.

1.1 Motivation

Mark Weiser schrieb 1991: Die tiefgreifendsten Technologien sind die, die verschwinden. Sie verbinden sich mit den Strukturen des täglichen Lebens, bis sie von ihnen nicht mehr zu unterscheiden sind. [Weiser, 1991]. Als Beispiel für eine solche Technologie führt er die Schrift an, der wir in unserer Umgebung ständig begegnen, ohne sie jedoch als Schrift wahrzunehmen. Wir nehmen lediglich die durch die Schrift repräsentierte Information auf.

Dieses in den Hintergrund treten einer Technologie, hier der Schrift als Informationsträger, können wir auch in anderen Bereichen beobachten. Betrachten wir das Erlernen des Autofahrens, so stellen wir fest, daß das Bedienen des Fahrzeugs und das Erkennen und Verarbeiten der Verkehrszeichen und -situationen unsere volle, bewußte Konzentration auf die einzelnen Aufgaben erfordert. Mit der Zeit aber fangen wir an, die Information der Verkehrszeichen „automatisch“ aufzunehmen und wir müssen zum Beispiel nicht mehr bewußt darauf achten, wann der Gang zu wechseln ist, sondern „erhören“ den richtigen Zeitpunkt unbewußt, haben diesen „im Gefühl“.

Das Verinnerlichen einer Technologie auf die oben beschriebene Weise identifiziert Weiser in [Weiser, 1991] als grundlegend für eine ubiquitäre Technologie.

Der Begriff des ubiquitären Rechnens (Ubiquitous Computing, Kurzform: UbiComp) wurde bereits 1989 von Mark Weiser im Rahmen seiner Arbeit am Xerox PARC eingeführt [Weiser, 1996] [Want et al., 1995] [Want et al., 1996]. UbiComp steht für Umgebungen, in denen viele rechnerunterstützte Geräte für den Benutzer unauffällig arbeiten und interagieren und ihn bei den verschiedensten Aufgaben unterstützen.

8 | Einleitung

Der Großteil heutiger Computersysteme folgt einem anderen Paradigma: Der Computer ist hier darauf optimiert, den Benutzer bei der Bewältigung möglichst aller anfallenden Aufgaben zu unterstützen.

Ubiquitous Computing ist eine Methode, die Computerbenutzung zu verbessern, indem in einer physikalischen Umgebung viele Computer verfügbar, diese aber für den Benutzer gewissermaßen unsichtbar gemacht werden [Weiser, 1993].

Dies bedeutet eine Abkehr vom Computer als Universalgerät. Ziel der Entwicklung ist es, Computer oder rechnerunterstützte Gegenstände, sogenannte Artefakte, zu schaffen, mit denen der Benutzer in der Lage ist, eng abgegrenzte Aufgaben zu erfüllen. Dabei sollen diese Artefakte als Werkzeuge nicht in den Vordergrund treten. Don Norman bezeichnet solche Geräte auch als Informationsgeräte (Information Appliances) [Norman, 1998]. Er fordert Geräte, die der Benutzer intuitiv ohne Einlernzeiten bedienen kann und die der zu erfüllenden Aufgabe angemessen und angepaßt sind. Appliances bilden dabei eine Einheit von Gerät und Software.

Wenn ein Artefakt zur Unterstützung des Benutzers bei einer bestimmten Aufgabe dient und in seiner Bauform und Funktion auf die Erfüllung dieser einen Aufgabe optimiert wurde, dann folgt daraus, daß der Anwender zur Bewältigung eines breiten Spektrums von Aufgaben eine Vielzahl spezialisierter Artefakte benötigt. Sind in einem Bereich viele Artefakte vorhanden, die zum Teil für verwandte Aufgaben konzipiert wurden, kann ein Mehrwert für den Benutzer erzielt werden, wenn diese Artefakte in der Lage sind, Daten auszutauschen. Der Datenaustausch zwischen Artefakten kann grundlegendes Mittel zur Bewältigung der Aufgabe sein. Der Austausch von Informationen zur Anzeige oder Speicherung kann aber auch selbst einen Teil der Anwendung darstellen.

Daraus können drei Grundkonzepte des Ubiquitous Computing abgeleitet werden:

- Computer treten als Gerät in den Hintergrund, sie werden für den Benutzer „unsichtbar“.
- Computer sind ubiquitär verfügbar und können ubiquitär kommunizieren [Beigl, 2001].
- Jeder Benutzer verfügt über eine Vielzahl von Computern zur Bewältigung verschiedenster Aufgaben.

Ubiquitous Computing stellt damit, laut Alan Kay von Apple Computers wie in Abbildung 1.1 gezeigt, nach der Mainframe-Ära und dem Personalcomputer, die dritte Ära der Computernutzung dar [Beigl, 2001][Weiser, 1993][Weiser, 1996].

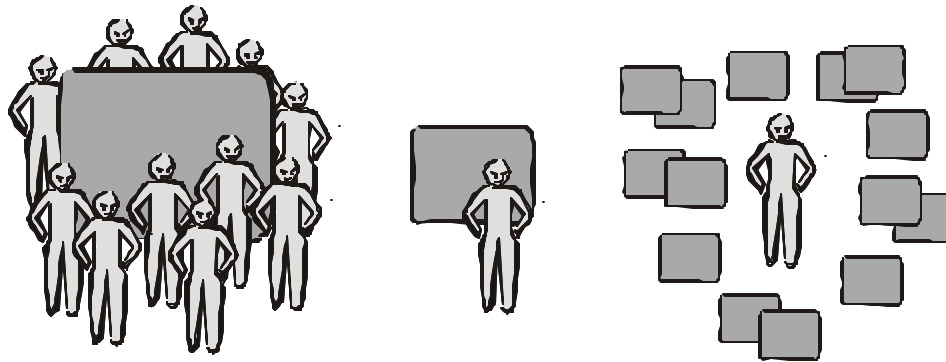


Abbildung 1.1 – Entwicklung der Computernutzung vom Mainframe (links) über den Personal-Computer hin zum Ubiquitous Computing (rechts)

Geräte, die in Ubicomp Umgebungen zum Einsatz kommen, müssen in Funktion und Design den Anforderungen, die sich aus den Grundkonzepten ergeben, genügen. Die Forderung, daß Computer als Geräte in den Hintergrund treten sollen, beeinflusst grundlegend das Design der Artefakte selbst sowie ihrer Benutzerschnittstellen. So soll sich nicht der Mensch dem Rechner anpassen, sondern das System muß auf die Bedürfnisse des Menschen reagieren [Kirsh, 1996]. Dazu ist es nötig, daß sich Artefakte unauffällig in die Umgebung integrieren und daß ihre Schnittstellen so gestaltet sind, daß sie dem Benutzer eine intuitive Erfüllung seiner Aufgaben ermöglichen. Die Begrenzung der Funktionalität eines Artefakts oder Appliances auf eine bestimmte Aufgabe oder einen bestimmten Aufgabenkreis führt zu einer großen Anzahl von rechnergestützten Geräten in einer Ubicomp Umgebung. Um die Leistungsfähigkeit einer Vielzahl von Artefakten optimal nutzen und von Synergieeffekten profitieren zu können, ist eine leistungsfähige Kommunikation zwischen den Artefakten notwendig.

Die Bedeutung der Kommunikation für Anwendungen in Ubicomp Umgebungen zeigt sich vor allem bei der Betrachtung von Anwendungsbeispielen. Die erste für ubiquitäre Systeme entwickelte Anwendung entstand im Rahmen des ParcTab Projektes am Xerox Parc Forschungszentrum [Want et al., 1996] [Want et al., 1996]. Das ParcTab System besteht aus Artefakten, die zur Erweiterung der Funktionalität klassischer Desktop Computer dienen. Dabei wurden kombinierte Anzeige- und Eingabegeräte in drei Größen entwickelt. Tabs, welche die Größe von Notizzetteln haben, Pads in der Größe eines Blattes Papier (etwa DIN A4) und Boards, welche die Größe von Wandtafeln erreichen. Die Benutzeroberflächen der Artefakte werden von einem X-Window [Scheifler et al., 1988] Server generiert. Zur Eingabe dient ein Stift, mit dem der Benutzer auf der berührungssensitiven Anzeigefläche der Artefakte schreiben und Anwendungen auswählen kann.



Abbildung 1.2 – Hardware des ParcTab Systems. Links Tab, rechts Board

Das System kann die Position der Artefakte mit Hilfe von Infrarotsendern bestimmen. Artefakte sind nicht personalisiert, sie stehen vielmehr in der gesamten Umgebung zur freien Verfügung. Eine Anwendung des Systems besteht zum Beispiel darin, daß ein Benutzer ein Dokument auf einem mobilen Artefakt öffnet und dieses dann zur Bearbeitung mit Kollegen auf ein beliebiges Board in der Nähe übertragen kann. Dokumente können auf diese Weise auch weitergegeben werden.

Die Geräte im ParcTab System kommunizieren nicht direkt untereinander, da sie nur die von den Servern zur Verfügung gestellten Oberflächen anzeigen, beziehungsweise Steuerbefehle an diese zurückliefern. Dennoch wird schon bei diesem ersten Ubicomp System klar, welche Bedeutung der Kommunikation zur Realisierung von Anwendungen zukommt. Kommunikation ist nötig, um Daten in Ubiquitous Computing Umgebungen ebenso ortsunabhängig wie die Hardware, die Artefakte, nutzen zu können. Damit werden Daten nicht nur durch die Mobilität der Artefakte mobil, sondern können auch zwischen Artefakten übertragen und von mehreren Artefakten bearbeitet oder angezeigt werden.

1.2 Ziele der Arbeit

Die Analyse von Kommunikationssystemen im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen ist ein Hauptthema dieser Arbeit. Hierfür werden die speziellen Anforderungen, die Ubicomp Umgebungen an die Kommunikation und die zugrunde liegenden Kommunikationssysteme stellen, erarbeitet. Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation eines Kommunikationssystems für Ubiquitous Computing Umgebungen, welches sich durch seine Flexibilität und Performanz für eine Vielzahl von Einsatzgebieten eignet.

Die Flexibilität soll durch die Integration eines Mechanismus zur diversifizierten Kommunikation weiter erhöht werden. Hierzu wird die Möglichkeit geschaffen, verschiedene Vermittlungsprotokolle innerhalb des neuen Kommunikationssystems einzusetzen, was die Eingliederung von existierenden Anwendungen in Ubicomp Umgebungen erheblich vereinfacht.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Referenzimplementierung dieses Systems. Dabei wird besonderer Wert auf die Portabilität der Implementierung zwischen verschiedenen Hardwareplattformen und die Bereitstellung einer Schnittstelle zur Anwendungsprogrammierung (API, Application Programming Interface) gelegt, die eine schnelle Entwicklung von neuen Anwendungen erlaubt. Diese Referenzimplementierung bildet die Grundlage für die Evaluierung des Kommunikationssystems im Einsatz in einer realen Ubicomp Umgebung.

1.3 Aufbau und Inhalt

In Kapitel 2 wird die Nutzung von Kontextinformationen in Ubiquitous Computing Systemen betrachtet. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung der Frage, wie der Mensch Kommunikation und Interaktion in seinem Umfeld organisiert und inwieweit diese Organisation auf Ubicomp Systeme abgebildet werden kann. Dabei wird besonders auf Lokationsinformationen für die Bildung von Kontexten und deren Bedeutung für die Kommunikation in Ubicomp Umgebungen eingegangen.

Im dritten Kapitel werden zunächst die speziellen Anforderungen, die eine Ubiquitous Computing Umgebung an ein Kommunikationssystem stellt erarbeitet und vorhandene Systeme, die zum Teil schon in Ubiquitous Computing Umgebungen eingesetzt werden, auf ihre Vor- und Nachteile bezüglich dieser Anforderungen untersucht. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Unterstützung von mobilen Teilnehmern und hochveränderlichen, dynamischen Netzwerkstrukturen.

Kapitel 4 enthält die detaillierte Beschreibung der Architektur des RAUM-Systems. Hier wird zuerst das verwendete Lokationssystem eingeführt und dann der Ablauf der Kommunikation innerhalb eines RAUM-Systems dargestellt. Das Kapitel schließt mit der genauen Beschreibung der Schichten der RAUM -Achitektur.

Das fünfte Kapitel gibt Einblick in die Implementierung eines Referenz Protokoll Stapels (Stack) zur Kommunikation in RAUM-Systemen.

Kapitel 6 enthält die Beschreibung der Ubiquitous Computing Systeme, mit denen das RAUM-System im Verlauf dieser Arbeit getestet wurde. Es geht auf die bei der Evaluierung des vorgestellten Systems gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen ein.

2 Kontext in Ubiquitous Computing

Dieses Kapitel führt den Begriff des Kontexts ein. Es erörtert die Benutzung von Kontextinformationen in Ubiquitous Computing Systemen. Zunächst wird verdeutlicht, was unter Kontext im Zusammenhang mit Ubicomp Systemen verstanden wird, dann wird auf die verschiedenen Einsatzbereiche von Kontexten eingegangen. Dazu wird der Begriff des Kontexts weiter strukturiert. Es wird die Bedeutung von Kontextwissen für die Kommunikation in Ubiquitous Computing Systemen dargelegt und die Verwendung von Lokationsinformationen als unterstützendem Kontext motiviert.

2.1 Begriffsklärung: Kontext

Kontext kann allgemein als „das Netz der in Wechselbeziehung stehenden Einflußfaktoren auf die Umgebungsbedingungen unter denen etwas existiert oder passiert“ definiert werden [Schmidt et al., 1998]. Nahezu alles, was im täglichen Leben geschieht, wird in seinem speziellen Kontext wahrgenommen. Alle Handlungen und Ereignisse stehen in direktem Zusammenhang mit den Randbedingungen, unter denen sie geschehen. Dabei bedeutet Kontext eine Abstraktion von reinen Umgebungsinformationen, wie sie direkt mit Hilfe von Sensoren gemessen werden können. Der Kontext beschreibt einen Gesamtzusammenhang, wie zum Beispiel „der Benutzer befindet sich in einem Meeting“.

Der Mensch nimmt Kontextinformation zu jeder Zeit wahr und läßt sie in sein aktives und reaktives Verhalten einfließen. So schalten wir unser Mobiltelefon ab, wenn wir uns in einer wichtigen Besprechung befinden und nicht gestört werden wollen, oder warten, bevor wir einen Kollegen ansprechen, bis dieser ein anderes Gespräch beendet hat. Diese menschliche Kontextsensitivität liegt den meisten Handlungen zugrunde. Sie ermöglichen ein der Situation angemessenes Verhalten.

Ubiquitous Computing Umgebungen können durch die Berücksichtigung von Kontextinformationen in ihrem Verhalten optimiert werden, indem ihnen die Fähigkeit gegeben wird, sich einer Situation anzupassen. Der Benutzer empfindet ein System, das dem Kontext gerecht reagiert und agiert als weniger störend. Dies verbessert die Unaufdringlichkeit des UbiComp Systems und ist eine Voraussetzung dafür, daß es für den Benutzer unsichtbar werden kann.

Im folgenden wird erörtert, in welche Bereiche von UbiComp Systemen Kontextwissen einfließen kann. Da das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit der Kommunikation in Ubiquitous Computing Umgebungen gilt, werden die Möglichkeiten, die sich in diesem Bereich durch die Nutzung von Kontexten ergeben, ausführlich bearbeitet.

2.2 Kontextsensitive Anwendungen

Anwendungen für Ubiquitous Computing Umgebungen können von der Auswertung des Kontexts profitieren. Wie gezeigt ist das Ziel der Entwicklung ubiquitärer Systeme, daß diese aus der bewußten Wahrnehmung des Benutzers verschwinden. Dies kann durch die Nutzung von Kontextinformationen erreicht werden, indem das aktive und reaktive Verhalten einer Anwendung beziehungsweise eines Artefakts den Verhaltensmustern des Benutzers angepaßt wird.

So kann ein Mobiltelefon, welches Kontexte auswerten kann, seinen Klingelton selbständig abschalten, wenn es erkennt, daß es sich in einer Konferenz befindet, oder ein kontextsensitiver Kalender kann seinem Benutzer „folgen“, so daß dieser von jedem Anzeigegerät in seiner Nähe auf seine persönlichen Einträge zugreifen kann. Dazu kann die aktuelle Lokation des Benutzers ausgewertet und mit Informationen über die Anwesenheit von anderen Personen im Sichtbereich des Anzeigegeräts und einer Klassifizierung der Einträge, beispielsweise als „privat“, verknüpft werden.

2.2.1 Von Sensordaten zum Kontext

Sensoren erfassen den Ist-Zustand einer physikalischen Größe. Ein Temperatursensor liefert die aktuelle Temperatur an einem bestimmten Punkt im Raum. Ein Beschleunigungssensor mißt die augenblickliche Beschleunigung des Objekts, an dem er befestigt ist. Kontext dagegen stellt Information über die Umgebung auf einer höheren Abstraktionsstufe dar. Ein Temperatursensor mißt zum Beispiel eine Raumtemperatur von 24°C. Bei diesem Wert handelt es sich lediglich um eine objektive Sensorinformation. Ein Kontext, der aus dieser Information abgeleitet werden kann, ist dann zum Beispiel „in diesem Raum ist es warm“. Der Unterschied zwischen reinen Sensorinformationen und einem Kontext besteht hierbei in der Interpretation der Daten.

Kontexte, die in den hier genannten Beispielen eine Rolle spielen, sind komplex. Dies bedeutet, sie können nicht aus einer einzigen Sensorinformation abgeleitet werden. Es ist nötig, das zeitliche Zusammentreffen mehrerer Ereignisse oder Zustände zu betrachten, um den abstrakten Kontext aus Sensorinformationen zu gewinnen.

Sensorinformationen sind in diesem Zusammenhang Informationen über die Umwelt, die einem elektronischen oder computerisierten Gerät durch aktive oder passive Informationsgewinnung zugänglich werden können. Man kann hier weiter zwischen physikalischer Sensorinformation, die ein Gerät selbst durch elektronische Umweltsensoren messen kann und logischer Sensorinformation, die dem Gerät von außen mitgeteilt wird, unterscheiden [Schmidt et al., 1999]. Diese Informationen können beispielsweise aus der eigenen Position, der Umgebungstemperatur, der Umgebungakustik oder den aktuellen Beschleunigungswerten bestehen. Aus diesen können dann durch Kombination abstrakte Kontexte abgeleitet werden.

2.2.2 Strukturierung von Kontexten

Zur Strukturierung bietet sich die Einteilung von Kontexten in zwei Klassen mit je drei Unterkategorien an, wie sie in [Schmidt et al., 1998] vorgestellt wurde. Abbildung 2.1

gibt einen Überblick über diese Klassifikation. Unterschieden wird zwischen Kontextwissen, welches direkt auf den Benutzer bezogen ist und hier mit menschlichen Einflußfaktoren (Human Factors) bezeichnet wird und Kontextwissen, das durch die Auswertung von Sensorinformationen erschlossen werden kann. Dies wird hier mit dem Begriff physikalische Umgebung (Physical Environment) bezeichnet. Kontextwissen aus dem Bereich der menschlichen Einflußfaktoren muß im Gegensatz dazu dem System meist von außen mitgeteilt werden.

Menschliche Einflußfaktoren werden in drei Bereiche eingeteilt:

- Informationen über den Benutzer (User)
- Informationen über das soziale Umfeld (Social Environment)
- Informationen über die zu erfüllende Aufgabe (Task)

Informationen über den Benutzer können dabei zum Beispiel seine Gewohnheiten und seine Physiologie beinhalten. Interessante Einflußfaktoren des sozialen Umfelds sind beispielsweise die sozialen Beziehungen zu anderen Benutzern, deren Nähe oder gemeinsame Interessen oder Aufgaben. Informationen über die Aufgaben eines Benutzers lassen auf einer hohen Abstraktionsstufe auf seine Ziele schließen und geben damit Hinweise auf zu erwartende zielgerichtete Handlungen. Eventuell können auch abstrakte Ziele selbst als Kontext genutzt werden.

Die zweite Klasse von Kontexten (Physical Environment) enthält Daten über:

- die Lokation von Artefakten und Personen (Location)
- die Infrastruktur des Ubicomp Systems (Infrastructure)
- die Außenbedingungen (Condition)

Bei der Lokation kann die absolute Position eines Artefakts oder einer Person und die relative Positionierung im Vergleich zu anderen Personen und Artefakten unterschieden werden. Daten über die umgebende Infrastruktur umfassen die in der Umgebung zur Verfügung stehenden Ressourcen, die durch ein Artefakt potentiell genutzt werden können, so zum Beispiel Kommunikationseinrichtungen oder, wie im Fall des ParcTap Systems, Anzeigeflächen. Unter Außenbedingungen sind Informationen wie die aktuelle Temperatur, das Lautstärkeniveau oder die Lichtintensität zusammengefaßt.

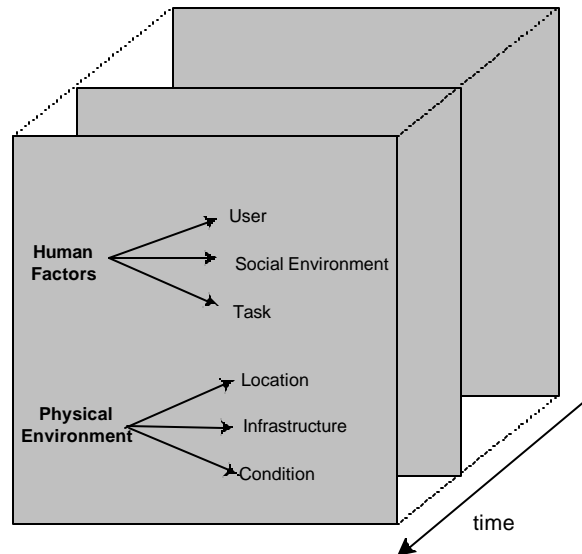


Abbildung 2.1 – Klassifikation von Kontexten

Wie in Abbildung 2.1 angedeutet ist zur Gewinnung eines aktuellen Kontexts Wissen über Kontexte der Vergangenheit hilfreich. So kann zum Beispiel aus der Tatsache, daß es vor kurzem hell war und jetzt dunkel ist und niemand den Lichtschalter betätigt hat, geschlossen werden, daß die Glühbirne in der Lampe nicht mehr funktioniert. Ein Artefakt, welches diesen Kontext: „Die Lampe ist nicht funktionsbereit“ erkennt, könnte den Hausmeister mit einer solchen Information versorgen.

2.2.3 Komplexität von Kontexten

Es zeigt sich schon bei den vorgenannten einfachen Beispielen, wie komplex Kontexte sind, aus denen abstrakte Informationen gewonnen werden können. Um für den Hausmeister wirklich sinnvolle Informationen zur Verfügung stellen zu können, muß das Artefakt mindestens feststellen können, ob es sich in einem geschlossenen Gebäude befindet und wenn ja, ob der Lichtschalter eingeschaltet ist, da es auch einfach Nacht geworden sein könnte. Interessant für den Hausmeister ist sicher auch, wo sich die schadhafte Lampe befindet und um welches Modell es sich handelt.

Sinnvolle Anwendungen müssen also in der Regel über ein ausgeprägtes Kontextwissen verfügen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Kommunikation zwischen Artefakten, da diese wie in Kapitel 1 gezeigt, nur für spezielle Aufgaben entworfen werden und somit nicht über die Möglichkeit verfügen, alle Informationen zu erschließen, die zur Generierung von ausreichend Kontextinformation nötig ist. Dies bedeutet, Artefakte sind mit Sensoren oder begrenztem Kontextwissen ausgestattet, sie müssen aber kommunizieren, um Kontextwissen von anderen Artefakten in der Ubicomp Umgebung zu erhalten, um so ihr Gesamtbild der Situation und damit des für sie relevanten Kontexts zu vervollständigen.

2.3 Kontext und Kommunikation

Vor dem Hintergrund, daß die Integration von Kontextwissen in Ubicomp Systemen dazu dienen soll, das Verhalten dieser Systeme für den Menschen unauffälliger zu gestalten, ist es sinnvoll zu analysieren, durch welches Benutzerverhalten Kommunikation initiiert wird und wie das Verhalten des Benutzers in der physikalischen Umwelt auf die Kommunikation von Artefakten in Ubicomp Umgebungen abgebildet werden kann.

2.3.1 Kommunikation und Interaktion

Der auffallendste Aspekt bei der Betrachtung von Kommunikation zwischen Menschen ist, daß sie, vorausgesetzt sie findet direkt statt, immer einen räumlichen Kontext beinhaltet. Die natürliche Reichweite der Kommunikation ist beschränkt, wir wenden uns einander zu, wenn wir miteinander sprechen und wir passen die Lautstärke unserer Unterhaltung der Umgebung an, indem wir zum Beispiel leiser sprechen, um andere nicht zu stören. Für die Interaktion mit unserer Umwelt gilt ähnliches. Wir nutzen den uns zur Verfügung stehenden Raum zur Strukturierung unserer Aufgaben.

Frühere Auffassungen über den Ablauf intellektueller Prozesse setzen voraus, daß beim Menschen diese Prozesse nach einem inneren Konzept, gemäß einer Repräsentation, ablaufen. Dies bedeutet, der Mensch folgt in seinen Denk- und Entscheidungsprozessen einem Entscheidungsbaum, der nach festen Regeln entsteht. Diese Regeln werden durch Mustervergleich ausgewählt [Brooks, 1991].

Im Gegensatz zu dieser Auffassung behauptet D. Kirsh in [Kirsh, 1995a], daß ein Großteil der von Menschen vollzogenen intelligenten Handlungen ohne logische Gedankengänge durchgeführt wird. Der Mensch erledigt dabei anspruchsvolle Aufgaben ohne ein Konzept. Rodney Brooks behauptet in [Brooks, 1991] sogar, daß der Mensch die Mehrzahl aller intellektuell anspruchsvollen Aufgaben ohne Repräsentation löst und dabei der Zustand (Kontext), in dem sich die Umwelt befindet, den Großteil der Handlungen von Individuen bestimmt.

Kirsh und Maglio zeigen in [Kirsh & Maglio, 1994], daß der Mensch sich statt Konzepten oder Repräsentationen einer Strategie der Raumnutzung bedient, die ihm als Hilfsmittel zur Erledigung komplexer Aufgaben dient. Dabei verändert er seine räumliche Umgebung soweit dies möglich ist. Der Grund dafür liegt laut Kirsh [Kirsh, 1996] darin, daß so die Anzahl der möglichen Lösungspfade in einer geordneten Umgebung gesenkt werden kann und damit die Aufgabe an Komplexität verliert.

Dieses Verhalten wurde auch schon in [Kirsh, 1995b] analysiert, mit dem Ergebnis, daß der Mensch bei der Erfüllung einer Aufgabe versucht, die kognitive Last soweit als möglich in den ihn umgebenden Raum auszulagern. Kirsh stellt als Beispiel hierfür einen Versuch vor, in dem die Probanden den Gesamtwert von einigen Münzen bestimmen sollten. Er stellt fest, daß die zur Lösung der Aufgabe benötigte Zeit und die

18 | Kontext in Ubiquitous Computing

Fehlerrate abnahm, je besser die Versuchspersonen ihre Umgebung in die Lösung einbeziehen konnten.

Die Probanden sollten in einem ersten Durchlauf Münzen auf einem Foto summieren, ohne dabei ihre Hände bewegen zu dürfen. Im zweiten Durchgang durften die Versuchspersonen ihre Hände nach Belieben einsetzen. Obwohl in diesem Beispiel die Möglichkeiten zur Nutzung des umgebenden Raums auf den Einsatz der Hände beim Zählen und Summieren begrenzt war, war die Verbesserung der Leistung der Probanden signifikant.

In seinem Artikel „The Intelligent Use of Space“ [Kirsh, 1995a] ordnet Kirsh die Nutzung des Raums in drei Bereiche:

- räumliche Anordnungen, welche die Auswahl vereinfachen
- räumliche Anordnungen, welche die Perzeption vereinfachen
- räumliche Manipulationen, welche interne Rechnungen vereinfachen

Typische Beispiele sind das Ordnen von Spielkarten gemäß einer Strategie, welche die Auswahl während des Spiels vereinfacht, oder das Vorbereiten des Arbeitsplatzes. Dabei amortisiert sich der Vorbereitungsaufwand durch die schnellere Erledigung der Aufgabe.

2.3.2 Räumliche Interaktion in Ubicomp Systemen

Die räumliche Interaktion mit der Umgebung ist eine der menschlichen Grundstrategien zur Lösung von Aufgaben. Dies wird von den meisten heutigen Computersystemen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt.

Ein typischer Personal Computer bietet keinen Raum für physikalische Interaktion jenseits der standardisierten Eingabegeräte. Auch die Metapher des virtuellen Desk Tops (Schreibtisch) ist nicht befriedigend, da sie dem Benutzer nicht die Manipulationsmöglichkeiten des realen Raums bieten kann. So sind thematisch in Stapeln geordnete Unterlagen auf einem Schreibtisch für den Benutzer leicht zu durchsuchen und zu bearbeiten, wogegen sich die Repräsentanten von Dokumenten (Icons) auf dem Desk Top zumeist nicht einmal ohne weiteres stapeln lassen. Ein Zusammenfassen von Dokumenten kann hier nur durch Ordner erreicht werden, die aber einen direkten Blick auf die einzelnen Dokumente verwehren.

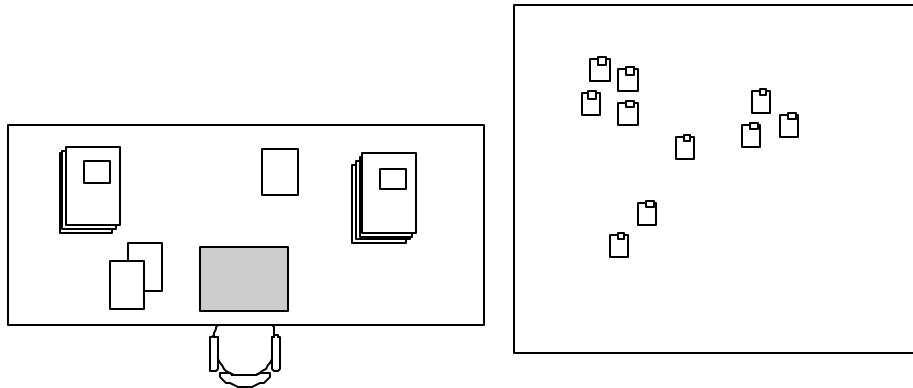


Abbildung 2.2 – links: Schreibtisch mit Unterlagen zu zwei Projekten und drei Notizzetteln, rechts: mögliche Anordnung der Dokumente auf einem Computer Desk Top.

Ubiquitous Computing bietet nun die Möglichkeit, das Potential zur Aufgabenlösung durch Interaktion mit der Umwelt besser auszuschöpfen, indem die Aufgabe selbst aus dem virtuellen Raum im Computer wieder zurück in die reale Arbeitsumgebung gebracht wird.

2.4 Abbildung von Interaktion: räumlich orientierte Kommunikation

Die Interaktion eines Benutzers in Ubicomp Umgebungen führt zur Kommunikation der Artefakte in dieser Umgebung, da der Benutzer die Artefakte in seiner Umgebung manipuliert und damit ihren Zustand verändert.

Dies läßt sich gut an einer Vision illustrieren, die Mark Weiser in [Weiser, 1991] in Anlehnung an das ParcTab Projekt vorstellte. Dort wird mit einem System gearbeitet, in dem Projekte durch Tabs repräsentiert werden. Diese können in der physikalischen Arbeitsumgebung wie klassische Unterlagen angeordnet werden. Ihr Inhalt kann allerdings durch Winken in Richtung eines Anzeigeräts auf diesem sichtbar gemacht werden. Dieser muß also von dem benutzten Tab zu dem ausgewählten Anzeigerät übertragen werden.

Diese Beobachtungen legen nahe, Kommunikation in Ubiquitous Computing Systemen mit einem räumlichen Kontext auszustatten. Wenn die Kommunikation in einem solchen System mit den gleichen Kontexten arbeitet wie die Kommunikation und Interaktion des Menschen, kann der Benutzer davon profitieren, da das System für ihn in seiner Funktion intuitiv verständlich wird. Die Kommunikation von (computerisierten) Objekten in Ubiquitous Computing Umgebungen sollte, wie die menschliche Wahrnehmung, räumlich organisiert sein [Beigl, 1999].

2.4.1 Begriffsklärung: Kommunikation und Interaktion

An dieser Stelle soll die Bedeutung der Begriffe Interaktion und Kommunikation für die weiteren Ausführungen geklärt werden. Diese Begriffe werden im folgenden zur Beschreibung technischer Systeme verwendet. Die Definitionen folgen weitgehend dem Gebrauch der Begriffe in [Beigl, 2001].

Kommunikation: Der Begriff Kommunikation bezeichnet ausschließlich entweder eine Kommunikationsbeziehung innerhalb einer Gruppe von Computersystemen oder innerhalb einer Gruppe von Menschen.

Interaktion: Als Interaktion soll ausschließlich eine Kommunikationsbeziehung zwischen Mensch und Maschine beschrieben werden. Dabei wird eine Veränderung des Zustands einer Maschine durch den Menschen als Kommunikationsbeziehung verstanden.

Interaktion findet lokal statt. Dies bedeutet, der Benutzer interagiert mit den Artefakten seiner direkten räumlichen Umgebung. Damit definiert er einen Interessensbereich bezüglich seiner aktuellen Aufgabe.

Interessensbereich: Der Interessensbereich eines Menschen ist der räumliche Bereich seiner Umgebung, der für ihn zur Erfüllung seiner aktuellen Aufgabe von Interesse ist. Dieser Bereich enthält die Werkzeuge, die den Menschen potentiell bei der Lösung der Aufgabe unterstützen können.

Wie bereits angeführt, stößt Interaktion unterstützende Kommunikation zwischen Artefakten an. Michael Beigl schreibt in [Beigl, 2001], ein erheblicher Anteil der Kommunikation zur Unterstützung von Interaktion sei, wie die Interaktion selbst, lokal begrenzt. Dies führt zur Definition des Begriffs der lokalen Kommunikation.

Lokale Kommunikation: Als lokale Kommunikation sollen Kommunikationsbeziehungen verstanden werden, die sich auf einen Bereich beschränken, der nicht größer als der Interessensbereich des Menschen ist.

Die lokale Kommunikation zwischen Artefakten erfüllt also die Forderung nach räumlicher Organisation gemäß der menschlichen Wahrnehmung.

In Abgrenzung zur lokalen Kommunikation empfiehlt sich die Klärung des Begriffs des Kommunikationsbereichs.

Kommunikationsbereich: Der Kommunikationsbereich eines Kommunikationssystems umfaßt den räumlichen Bereich, in dem das Kommunikationssystem direkte Kommunikationsbeziehungen unterstützen kann. Der Kommunikationsbereich eines einzelnen Artefakts ist der räumliche Bereich, in dem das Artefakt kommunizieren kann.

Kommunikationsbereiche können technischen Einschränkungen unterliegen, zum Beispiel auf Grund des verwendeten Übertragungsmediums.

2.4.2 Interessensbereich und Kommunikationsbereich

In Analogie zum Interessensbereich des Menschen in der realen Welt kann ein Interessensbereich eines Artefakts in der virtuellen Welt geschaffen werden. Zu diesem Zweck muß lediglich der Kommunikationsbereich eines Artefakts auf den Bereich lokaler Kommunikation beschränkt werden. Dies bedeutet, daß einem Artefakt entsprechend seiner aktuellen Anwendung (falls das Artefakt mehrere Anwendungen unterstützt) ein darauf abgestimmter Kommunikationsbereich zugeordnet wird.

Dies ermöglicht eine Abbildung der räumlichen Organisation des Benutzers auf die kommunikativen Eigenschaften eines ihn umgebenden UbiComp Systems.

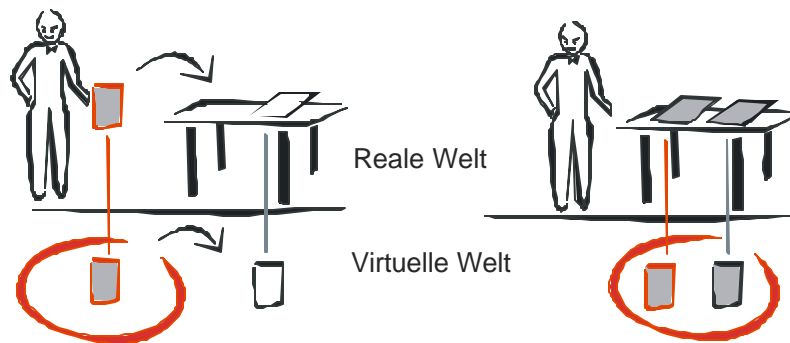


Abbildung 2.3 – Räumliche Organisation des Benutzers in der realen Welt (oben) und Repräsentation in der virtuellen Welt (unten). Der Kreis stellt einen Kommunikationsbereich dar.

In dem in Abbildung 2.3 angedeuteten Beispiel platziert der Benutzer Artefakte auf einem Tisch und erzeugt damit einen beiden Artefakten gemeinsamen Kontext. Dieser kann in der virtuellen Welt durch einen gemeinsamen Kommunikationsbereich repräsentiert werden. Der Kommunikationsbereich wird hier durch einen Kreis in der virtuellen Welt angedeutet.

Dieses Prinzip bietet, wie bei der Einführung des RAUM-Systems gezeigt wird, bei weiterer Verfeinerung der Abbildung die Möglichkeit, Kommunikationspartner in einem Kommunikationssystem ausschließlich anhand ihrer Lokation in der UbiComp Umgebung auszuwählen.

2.4.3 Zusammenfassung: Lokationsbasierte Kommunikation

Kommunikationssysteme, die für die Realisierung einer Ubiquitous Computing Umgebung in Frage kommen, in der kontextabhängige Kommunikation nach dem oben beschriebenen Konzept durchgeführt werden soll, müssen mindestens in der Lage sein, Lokationsinformationen in die Organisation der Kommunikation einfließen zu lassen.

22 | Kontext in Ubiquitous Computing

Das reine Bereitstellen von Lokationsinformationen oder das Adressieren von räumlichen Bereichen zur Kommunikation darf aber nicht mit der hier vorgestellten lokationsbasierten Kommunikation verwechselt werden.

Lokationsbasierte Kommunikation benutzt Kontextwissen, um menschliche Organisationsprinzipien auf Kommunikationsbeziehungen abzubilden. Dies bedeutet, daß Kommunikationspartner zum Beispiel auf Grund eines gemeinsamen Kontexts ausgewählt werden können. Eine Kommunikationsbeziehung charakterisiert sich dann nicht über die Identifikation der Teilnehmer, sondern über den Kontext, der allen Kommunikationsteilnehmern gemeinsam ist. Ein Kontext, der dabei verwendet werden kann, ist die Co-Lokation verschiedener Artefakte, beziehungsweise die (gegenseitige) Lokation der potentiellen Kommunikationspartner innerhalb der von ihnen definierten Interessensbereiche.

Die Übertragung der vom Benutzer bevorzugten räumlichen Organisation auf die Abläufe innerhalb eines Kommunikationssystems für Ubicomp Umgebungen hat den Vorteil, daß der Benutzer die Kommunikationsbeziehungen intuitiv nachvollziehen und damit effektiver nutzen kann.

In diesem Kapitel wurde der für Ubiquitous Computing wichtige Begriff des Kontexts eingeführt. Die Nutzung von Kontextinformationen wurde anhand von Beispielen verdeutlicht. Speziell wurde dabei auf die Unterstützung der Kommunikation in Ubicomp Systemen durch raum- und lokationsbezogene Kontexte eingegangen. Dabei wurden der, für die weitere Arbeit wichtige, Begriff der lokationsbasierten Kommunikation definiert.

Die folgenden Kapitel befassen sich mit der Umsetzung der Idee der lokationsbasierten Kommunikation in Ubiquitous Computing Umgebungen.

3 Kommunikation in Ubiquitous Computing

In diesem Kapitel soll ein Überblick über den Stand der Technik im Bereich der Netzwerke für mobile Teilnehmer gegeben und auf verwandte Arbeiten zum Thema Kommunikation in ubiquitären Systemen hingewiesen werden.

UbiComp Umgebungen stellen besondere Anforderungen an die in ihnen eingesetzten Kommunikationssysteme. Dieses Kapitel geht zunächst auf diese Anforderungen an Kommunikationssysteme ein. Im weiteren werden einige Kommunikationssysteme vorgestellt und bezüglich ihrer Vor- und Nachteile im Einsatz in UbiComp Umgebungen analysiert. In die Betrachtung gehen hierbei sowohl vorhandene „klassische“ Systeme ein, die für UbiComp Umgebungen geeignet erscheinen, als auch solche, die speziell für den Einsatz in UbiComp entwickelt wurden.

Die Auswahl der betrachteten Systeme geschah unter verschiedenen Gesichtspunkten. Die zu untersuchenden Kommunikationssysteme sollten in der Lage sein, mobile Teilnehmer zu unterstützen und möglichst die im vorigen Kapitel als interessant für die Kommunikation in UbiComp Umgebungen identifizierten Lokationsinformationen nutzen. Außerdem wurde bei der Auswahl darauf geachtet, sowohl Systeme zu untersuchen, die für allgemeine Anwendungen entwickelt wurden, sich aber auch für den Einsatz in UbiComp Umgebungen eignen könnten, als auch Systeme zu betrachten, die mit dem Ziel entwickelt wurden, bestimmte Kommunikationsaufgaben in UbiComp Systemen zu erfüllen.

In diesem Kapitel werden zunächst Anforderungen erarbeitet, die Kommunikationssysteme für UbiComp Umgebungen erfüllen sollten. Anschließend werden verschiedene Systeme im Hinblick auf die Erfüllung dieser Anforderungen analysiert. Mobile IP wird dabei als erstes System ausführlich beschrieben, da viele der hier verwendeten Mechanismen auch in anderen Systemen zum Einsatz kommen. Bei der Analyse der weiteren Kommunikationssysteme wird auf diese Beschreibungen Bezug genommen. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Ergebnisse.

3.1 Anforderungen an Kommunikationssysteme in UbiComp

Verschiedene Charakteristika von Ubiquitous Computing Umgebungen sind bei der Auswahl eines geeigneten Kommunikationssystems zu beachten. Diese Eigenschaften werden hier zunächst identifiziert, danach werden die sich daraus ergebenden Implikationen erarbeitet. Einflußfaktoren auf die Kommunikationsanforderungen in Ubiquitous Computing Systemen sind:

- Eine große Anzahl Geräte, die auf engem Raum an der Kommunikation teilnehmen.
- Eine räumliche Begrenzung des Kommunikationsbereichs (sowohl einzelner Artefakte als auch des gesamten Systems).

24 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

- Eine hohe Mobilität der Artefakte innerhalb der Ubicomp Umgebung.
- Eine hohe Dynamik der in einem Kommunikationsbereich befindlichen Artefakte.
- Der Energiebedarf der Kommunikation.
- Die Komplexität der Implementierung des Kommunikationssystems.

3.1.1 Anzahl der Geräte

Kommunikationssysteme für Ubiquitous Computing Umgebungen müssen eine große Anzahl Teilnehmer unterstützen. Wie bereits erwähnt, sind Ubicomp Umgebungen durch das Vorhandensein vieler einzelner Artefakte gekennzeichnet, deren Kommunikationsanforderungen erfüllt werden müssen. Dies beeinflusst die Größe des Adressraums, den ein Kommunikationssystem zur Verfügung stellen muß. Abhängig davon, wie groß die räumliche Ausdehnung des Gesamtsystems ist, kann dies Probleme bereiten, da unter Umständen mehrere hundert Geräte pro Raum unterstützt werden müssen. Man denke zum Beispiel an Konferenzzentren mit mehreren großen Besprechungsräumen oder Großraumbüros. Zu beachten ist auch, wie die Kommunikationsgeschwindigkeit mit der Anzahl der verbundenen Teilnehmer skaliert.

3.1.2 Räumliche Begrenzung der Kommunikation

Bei der Analyse der Kommunikation in Ubicomp Umgebungen ist es sinnvoll, die räumliche Ausdehnung des Kommunikationsbereichs zu betrachten. Dies hat vor allem zwei Gründe: Erstens kann die Begrenzung des Kommunikationsbereichs das Gesamtsystem und dessen Handhabung vereinfachen, und zweitens kann sie dazu genutzt werden, die Privatsphäre des Anwenders zu schützen, wenn der ihn betreffende Datenverkehr technisch lokal beschränkt bleibt.

Für viele Anwendungen ergeben sich sogar weitere Vorteile, wenn der Kommunikationsradius der einzelnen Artefakte beeinflusst werden kann, da dies die Möglichkeit schafft, die Kontextinformation der räumlichen Nähe oder Co-Lokation für Anwendungen zu nutzen.

3.1.3 Mobilität der Artefakte innerhalb von Ubicomp Umgebungen

Da ein Großteil der Artefakte in einer Ubicomp Umgebung nicht ortsgebunden ist, sollte die Integration von mobilen und stationären Teilnehmern in ein homogenes Kommunikationssystem angestrebt werden. Netzwerke in Ubicomp sollten daher idealerweise den Anschluß von Geräten über verschiedene Übertragungsmedien unterstützen. Neben klassischen, kabelgebundenen Medien wie Ethernet, I²C (Inter-IC Bus) [Philips, 2001] oder CAN (Controller Area Network) [CAN, 2001] und drahtlosen Techniken wie IrDA (Infrared Data Association) [IrDA, 2001] oder WaveLAN [IEEE, 2000] sollte auch die Unterstützung von generischen RF- (Radio Frequency) oder In-

frarot- (IR) Verbindungen möglich sein. Diese Forderung begründet sich aus der Notwendigkeit, auch Kleinstgeräte in das System einbinden zu können, die auf Grund von technischen Beschränkungen komplexe Medienzugriffsverfahren nicht implementieren können. Diese Problematik hängt auch direkt mit dem Energieverbrauch der Geräte zusammen, auf den in Abschnitt 3.1.5 gesondert eingegangen wird.

3.1.4 Dynamik der im Kommunikationsbereich befindlichen Artefakte

Ist eine Ubicomp Umgebung in einer beliebigen Form räumlich begrenzt, so werden Artefakte diese Grenze passieren. Sobald sie dies tun, ändert sich die Infrastruktur des Kommunikationsnetzwerks, da Teilnehmer dem Netz hinzugefügt werden oder dieses verlassen. Dieses Problem betrifft auf der Netzwerkebene nicht das Auffinden von Diensten (Service Discovery), die von den Artefakten zur Verfügung gestellt werden, sondern die konsistente Behandlung von Verbindungen, die abrechen können, wenn ein Teilnehmer einen Kommunikationsbereich verläßt und das Aufbauen von Verbindungen zu Geräten, die sich in den Kommunikationsbereich hineinbewegen.

Anforderungen die sich daraus an das Kommunikationssystem ergeben betreffen die Vergabe und Verwaltung von Adressen und die Verlässlichkeit bestehender Verbindungen hinsichtlich der Auslieferung von Daten.

3.1.5 Energiebedarf

Einer der wichtigsten Punkte bei der Entwicklung von Geräten für Ubicomp Anwendungen ist ihr Energiebedarf. Grundsätzlich ist die Einordnung von Artefakten bezüglich ihres Energiebedarfs in fünf Kategorien möglich:

- Stationäre Geräte mit permanenter Stromversorgung über das Stromnetz. Hierbei kann es sich um Personal Computer handeln, die in die Ubicomp Umgebung integriert sind, oder Infrastrukturgeräte der Ubicomp Netzwerke Umgebung. Die Stromaufnahme dieser Geräte hat keinen direkten Einfluß auf ihre Benutzbarkeit und Funktionalität in Ubicomp Systemen.
- Mobile Geräte mit Batterieversorgung, die regelmäßig aufgeladen, oder deren Batterien ausgetauscht werden müssen. Zu dieser Gruppe gehören unter anderem PDAs (Personal Digital Assistant) und Mobiltelefone. Wichtig für den Einsatz dieser Geräte ist: der Benutzer muß akzeptieren, daß er das Gerät regelmäßig aktiv mit Strom versorgen muß. Dazu sollte das Intervall zwischen den Ladevorgängen der Anwendung des Geräts angepaßt sein (ein Mobiltelefon, das alle zwei Stunden aufgeladen werden muß, könnte sicher kaum sinnvoll eingesetzt werden).
- Mobile Geräte mit Batterieversorgung, die während der Lebensdauer des Geräts nicht ersetzt werden muß, oder vom Benutzer selbst nicht, beziehungsweise nur schwer, ersetzt werden kann. In diese Kategorie fallen zum Beispiel Armbanduhren.
- Mobile Geräte, die sich selbst mit Strom versorgen, etwa durch Solarzellen.

26 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

- Mobile Geräte, die von außen mit der benötigten Energie versorgt werden. Ein Beispiel sind hier die RF-Tags, die in berührungsfrei ausgelesenen Codekarten zum Einsatz kommen. Diese werden durch das Lesegerät mittels elektrischer Induktion mit Energie versorgt.

Die angeführten Punkte machen klar, daß sich der Energiebedarf eines Geräts direkt auf seine Mobilität auswirkt. Die Energieaufnahme beeinflusst unter Umständen, wenn sie der Anwendung des Geräts nicht angepaßt ist, aber auch die allgemeine Akzeptanz, die der Benutzer einem Gerät entgegenbringt.

Für die Bewertung eines Kommunikationssystems ist die Beachtung des Energieverbrauchs besonders wichtig, da die Kommunikation oft für einen großen Anteil des gesamten Energiebedarfs eines Artefakts verantwortlich ist.

3.1.6 Komplexität der Implementierung

Die Komplexität der Implementierung eines Kommunikationssystems ist von Interesse für die Bewertung, da viele der Artefakte in Ubicomp Umgebungen über eine sehr beschränkte Rechenleistung und Speicherkapazität verfügen. Damit ein homogenes Kommunikationsnetz aufgebaut werden kann, sollten aber alle Artefakte in der Lage sein, möglichst ohne die Hilfe von Infrastrukturobjekten, die Daten zwischen verschiedenen Kommunikationssystemen umsetzen (Gateways), am Datenaustausch teilzunehmen.

An dieser Stelle sind allerdings nicht Infrastrukturobjekte gemeint, die in einem homogenen Netz energieintensive Aufgaben wie Routing übernehmen. Hier gilt ähnlich wie bei der Betrachtung des Energiebedarfs, daß die Komplexität der Implementierung und des Funktionsumfangs dem Einsatz des Geräts entsprechen muß.

3.1.7 Kommunikationssysteme für Ubicomp

Durch die Betrachtung der Möglichkeiten der Kontextnutzung und die Analyse der Anforderungen an Kommunikationssysteme für Ubicomp Umgebungen können zusammenfassend wünschenswerte Eigenschaften derartiger Systeme abgeleitet werden:

- Kommunikationssysteme für Ubiquitous Computing Umgebungen sollen eine große Anzahl Geräte auf kleinem Raum unterstützen.
- Der Kommunikationsbereich der einzelnen Teilnehmer sollte möglichst frei konfigurierbar sein.
- Das Kommunikationssystem sollte die Anbindung von mobilen sowie stationären Artefakten unterstützen.
- Neue Kommunikationsteilnehmer sollten automatisch, ohne Zutun des Benutzers, in das System integriert werden. Ebenso sollten Teilnehmer, die den Kommunikationsbereich verlassen, gehandhabt werden können.

- Der Energieverbrauch der grundlegenden Kommunikationsfunktionen sollte möglichst gering sein.
- Das System sollte vorzugsweise modular aufgebaut sein.
- Die Grundkomplexität des Kommunikationssystems sollte möglichst gering sein.
- Lokationsbasierte Kommunikation sollte unterstützt werden.

Die Systeme, welche in diesem Kapitel vorgestellt werden, sollen anhand der hier erarbeiteten Anforderungen und den sich daraus ergebenden wünschenswerten Eigenschaften, für Kommunikationssysteme in UbiComp Umgebungen bewertet werden.

3.2 Mobile IP

Mobile IP [Perkins, 1997] ist ein Protokoll, welches innerhalb der Internet Engineering Task Force (IETF) entwickelt wurde, um mobilen Teilnehmern den Zugang zum Internet zu ermöglichen. Die Spezifikation des Mobile IP Protokolls ist als RFC 2002 [Perkins, 1996a] verfügbar. Mit Mobile IP direkt in Beziehung stehende Spezifikationen wurden als RFC 2003 - 2006 [Perkins, 1996b,c] [Solomon, 1996] [Cong et al., 1996] veröffentlicht.

3.2.1 Mobile IP im Überblick

Mobile IP bietet mobilen Teilnehmern die Möglichkeit, eine kontinuierliche IP- [Postel, 1981] Verbindung zum Internet herzustellen. Kontinuität bedeutet hier nicht eine unterbrechungsfreie Verbindung zu jeder Zeit, sondern die Möglichkeit, einen mobilen Rechner, der mit dem Internet verbunden ist, jederzeit unter seiner Internetadresse (IP-Adresse) oder seinem DNS (Domain Name Service) Namen erreichen zu können. Das Hauptproblem bei dieser Art der Verbindung besteht darin, daß die IP-Adresse quasi implizit den Aufenthaltsort eines Systems innerhalb des Netzwerks angibt.

Mobile IP implementiert drei Teilsysteme zur Verbindung mobiler Teilnehmer mit dem Internet:

- Einen Mechanismus zur Entdeckung mobiler Teilnehmer (Discovery Mechanismus), der es Rechnern erlaubt, ihren aktuellen Verbindungspunkt zum Netzwerk und damit ihre neue IP-Adresse zu ermitteln.
- Einen Dienst über den Teilnehmer, die ihre neue IP-Adresse bereits kennen, eine Verbindung zu einem Agenten (Home Agent) aufbauen können, der sie in ihrem Heimnetzwerk (Home Network) repräsentiert.

28 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

- Ein Verfahren mit dem Datagramme an einen mobilen Teilnehmer (Mobile Node) ausgeliefert werden können, der sich nicht in seinem Home Network befindet.

An dieser Stelle ist es sinnvoll, kurz auf die in der Spezifikation von Perkins [Perkins, 1997] benutzte Terminologie einzugehen.

Mobile Node: Ein Host oder Router, der seinen Verbindungspunkt zum Netzwerk von einem Subnetz zu einem anderen ändert, ohne dabei die IP-Adresse zu ändern, unter der er erreichbar ist. Ein Mobile Node kann mit Rechnern im gesamten Netzwerk unter Verwendung seiner statischen IP-Adresse kommunizieren, unabhängig davon, wo er oder seine Kommunikationspartner sich im Netzwerk befinden.

Home Agent: Ein Router im Heimnetzwerk eines Mobile Node, der Datagramme an die Mobile Nodes ausliefert und eine Liste der aktuellen Aufenthaltsorte aller bei ihm registrierten Mobile Nodes hält.

Foreign Agent: Ein Router des Subnetzwerks, in dem sich ein Mobile Node als Gast aufhält. Der Foreign Agent arbeitet mit dem Home Agent eines Mobile Nodes bei dessen Registrierung und der Auslieferung von Datagrammen zusammen.

Agent Advertisement: Der Foreign Agent gibt seine Präsenz in seinem Subnetzwerk bekannt. Dadurch ist es Mobile Nodes möglich, eine Verbindung zu ihm aufzubauen.

Correspondent Node: Ein mobiler oder stationärer Teilnehmer, mit dem der Mobile Node kommuniziert.

Home Address: Die statische IP-Adresse eines Mobile Nodes, die unverändert bleibt, unabhängig davon, wo der Teilnehmer mit dem Netzwerk verbunden wird.

Home Network: Ein Netzwerk, dessen Netzwerkadresse dem Netzwerkprefix der Home Address eines Mobile Nodes entspricht.

Foreign Network: Jedes Netzwerk, außer dem Home Network, an das ein Mobile Node direkt angeschlossen wird.

Care-of Address: Bezeichnet den Endpunkt eines IP-Tunnels [Zimmer, 1999] in Richtung eines Mobile Nodes, über den Daten an den Mobile Node weitergeleitet werden, wenn sich dieser nicht in seinem Home Network befindet. Es werden zwei Arten von Care-of Adressen unterschieden. Der aufgebaute IP-Tunnel kann direkt beim Mobile Node oder bereits beim Foreign Agent enden. Reicht der Tunnel lediglich bis zum Foreign Agent, spricht man von einer *Foreign Agent Care-of Address*. Dies ist die IP-Adresse des Foreign Agent, an dem der Tunnel endet. Im anderen Fall wird der Tunnelendpunkt als *Co-located Care-of Address* bezeichnet. Die Co-located Care-of Address ist eine Adresse, die einem der Netzwerkadapter des Mobile Node extern, zum Beispiel mit Hilfe des Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) [Droms, 1993], zugewiesen wurde. Diese Adresse stammt aus dem Adressbereich des Foreign Network.

Es ist zu beachten, daß Standard IP-Routingverfahren Datagramme immer an das Home Network eines Mobile Nodes ausliefern, da dessen Home Address aus dem Adressbereich des Home Networks stammt. Unter Verwendung von Mobile IP werden diese Daten vom Home Agent angenommen und für den Transport in einem IP-Tunnel gekapselt. Der Home Agent leitet die Daten dann unter Verwendung der Liste der aktuellen Aufenthaltsorte seiner Mobile Nodes an das Foreign Network weiter, wo sie an den Mobile Node ausgeliefert werden.

3.2.2 Discovery Mechanismus

Der Discovery Mechanismus des Mobile IP Protokolls hat verschiedene Aufgaben. Er ermöglicht es einem Mobile Node, einen Foreign Agent oder Home Agent zu finden, sich bei ihm zu registrieren und er regelt die Zuweisung einer Care-of Address.

Damit ein Mobile Node, der an einem Netzwerk angeschlossen wird, feststellen kann, ob er sich in seinem Home Network oder einem Foreign Network befindet, muß er in der Lage sein, den für dieses Netzwerk zuständigen Home Agent, beziehungsweise Foreign Agent, zu finden. Das dazu von Mobile IP verwendete Verfahren beruht auf einer Erweiterung des Internet Control Message Protocol (ICMP) Router Discovery Message (RFC 1256) [Deering, 1991]. An Stellen, an denen im folgenden kein Unterschied in der Funktion eines Home Agent und eines Foreign Agent besteht, wird der Begriff Mobile IP Agent verwendet.

Jeder Mobile IP Agent sendet periodisch Agent Advertisements als Rundruf (Broadcast), welche die Mobile Nodes empfangen und auswerten. Stellt ein Mobile Node fest, daß er sich in seinem Home Network befindet, kann er zur Kommunikation sofort seine Home Address benutzen. Befindet er sich in einem Foreign Network, bemüht er sich um eine Care-of Address. Diese kann er entweder dem Agent Advertisement entnehmen (Foreign Agent Care-of Address), oder per DHCP anfordern (Co-located Care-of Address).

3.2.3 Registrierung beim Home Agent

Hat ein Mobile Node eine Care-of Address erhalten, registriert er diese bei seinem Home Agent. Das Registrierungsverfahren unterscheidet sich für Foreign Agent Care-of Address und Co-located Care-of Address nur geringfügig. Ist dem Mobile Node eine Foreign Agent Care-of Address zugewiesen, sendet dieser eine Registrierungsanforderung an den Foreign Agent, der diese dann an den Home Agent weiterleitet. Falls der Mobile Node über eine Co-located Care-of Address verfügt, sendet er seine Registrierungsanforderung direkt an seinen Home Agent. Dabei verwendet er als Quelladresse die ihm zugewiesene Care-of Adresse.

Empfängt ein Home Agent eine Registrierungsanforderung eines seiner Mobile Nodes, vermerkt er in einer Liste, daß sich der betreffende Mobile Node zur Zeit nicht im Home Network befindet und unter welcher Care-of Adresse dieser zu erreichen ist. Diese Information benötigt der Home Agent, um Datagramme, die an den Mobile Node adressiert sind, abzufangen und an diesen weiterleiten zu können.

Eine Registrierungsanforderung wird von einem Home Agent mit einer Registrierungsbestätigung beantwortet. War die Registrierung erfolgreich, enthält die Bestätigung unter anderem die Gültigkeitsdauer dieser Registrierung. Schlägt die Registrierung fehl, kann der Mobile Node die Art des aufgetretenen Fehlers anhand eines Fehlercodes in der Registrierungsbestätigung erkennen.

3.2.4 Datenaustausch mit einem Mobile Node

Ist ein Mobile Node erfolgreich bei seinem Home Agent registriert, kann er unter Benutzung seiner Home Address mit beliebigen Teilnehmern im gesamten Netzwerk kommunizieren. Wie oben bereits erwähnt, sorgen die IP Routing Protokolle dabei dafür, daß Daten, die für den Mobile Node bestimmt sind, an das Home Network und dort an den Home Agent ausgeliefert werden. Der Home Agent fängt Datagramme, die für Mobile Nodes bestimmt sind, die aktuell bei ihm mit einer Care-of Adresse registriert sind, ab. Diese werden für die Weiterleitung in einem Tunnel, wie in [Zimmer, 1999] beschrieben, gekapselt und dann an die Care-of Adresse des Mobile Node ausgeliefert. Zur Realisierung der Kapselung stehen verschiedene Protokolle zur Auswahl, wobei beide Seiten als Minimalanforderung die in RFC 2003 [Perkins, 1996b] spezifizierte IP-in-IP Kapselung unterstützen müssen.

Dieses Verfahren führt zu einer asymmetrischen Kommunikation (Dreiecks Routing), da alle Daten, die an einen Mobile Node adressiert sind, den Home Agent passieren müssen. Perkins gibt in [Perkins, 1997] Verfahren an, die eine Optimierung der Route erlauben. Diese beruhen darauf, dem Correspondent Node die Möglichkeit zu geben, Daten gekapselt direkt an die Care-of Address eines Mobile Node auszuliefern. Da diese Optimierungen für die Einordnung des Mobile IP in Bezug auf die Nutzung in Ubicomp Umgebungen von untergeordneter Bedeutung sind, wird hier auf eine ausführliche Beschreibung dieser Verfahren verzichtet.

3.2.5 Mobile IP und IPv6

Das Internet Protocol Version 6 (IPv6) [Deering & Hinden, 1995] [Hinden & Deering, 1995] unterstützt bereits eine leicht abgewandelte Form des Mobile IP [Perkins & Johnson, 1996]. Dabei ist der Einsatz eines Foreign Agent nicht mehr zwingend erforderlich. Auch die Optimierung der Routen vereinfacht sich beim Einsatz von IPv6, da es bereits die Möglichkeit bietet, einem Correspondent Host die Care-of Address eines Mobile Node direkt zu übermitteln.

IPv6 wird an dieser Stelle im Zusammenhang mit Mobile IP erwähnt, da es mit dem im Vergleich zu IPv4 stark erweiterten Adressraum eine wichtige Einschränkung von IPv4 basierten Protokollen im Einsatz in UbiComp Umgebungen aufhebt. Da IPv6 allerdings zur Zeit noch nicht flächendeckend im Einsatz ist, erschwert sich die Integration in bestehende IP Netzwerke.

3.2.6 Mobile IP in UbiComp

Mobile IP ist eine Erweiterung des Internet Protokolls. Damit verfügt ein Mobile IP Netzwerk über die volle Funktionalität klassischer IP-Netzwerke, erweitert um die Unterstützung mobiler Teilnehmer.

Jedem Gerät in einem Mobile IP Netzwerk muß mindestens eine IP -Adresse zugeordnet werden. Dies kann in Anbetracht des heute schon bestehenden Mangels an freien IP-Adressen die Tauglichkeit für UbiComp Systeme einschränken. Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, kann diese Einschränkung mit der Benutzung von IPv6 umgangen werden. Allerdings geht dies auf Kosten der Integrierbarkeit des Systems in bestehende IP-Netzwerke, die vorwiegend IPv4 einsetzen.

Mit der benötigten Infrastruktur (Home Agent und Foreign Agent) und den Routinganforderungen von IP-Netzwerken ist der Einsatz von Mobile IP sicher nur in räumlich weit verteilten UbiComp Umgebungen sinnvoll. Die in Abschnitt 3.1.4 angeführten Anforderungen an die Unterstützung der Dynamik im Kommunikationsbereich kann Mobile IP sehr gut unterstützen, da das Infrastrukturnetz alle Möglichkeiten des IP-Routing nutzen kann.

Der Energiebedarf der für Mobil IP nötigen Infrastruktur ist sehr hoch. Eine Implementierung für die mobilen Artefakte kann energiesparender ausgelegt werden. Dabei ist zu beachten, daß Artefakte in der Lage sein müssen, festzustellen, wann sie sich von einem Subnetz in ein anderes bewegen.

Da für die Unterstützung von Mobile IP die Implementierung eines vollständigen IP-Stacks und die Implementierung der Mobile IP Erweiterungen nötig ist, kann die Komplexität als sehr hoch eingestuft werden. Dies macht Mobile IP ungeeignet für Umgebungen, in denen eine große Anzahl von Kleinstgeräten vernetzt werden muß.

3.2.7 Zusammenfassung und Bewertung

Mobile IP wurde entwickelt, um Benutzern des Internets die Möglichkeit zu geben, ihren Standort und damit ihren Anschlußpunkt zum Netzwerk, zu ändern. Von Vorteil bei diesem System, ist der Umfang der Kommunikationsfunktionen und vorhandenen Anwendungen. Durch das zu Grunde liegende IP-Netzwerk können dessen Routingfunktionen genutzt werden.

Nachteile für den Einsatz in UbiComp Umgebungen entstehen unter anderem aus dem komplexen Aufbau des Systems und die nur sehr eingeschränkte Unterstützung hochmobiler Teilnehmer.

Eine zusammenfassende Bewertung von Mobile IP wird in Tabelle 3.1 gegeben. Es eignet sich, in der hier vorgestellten Grundform damit kaum für den Einsatz in typischen UbiComp Umgebungen.

Anzahl der unterstützten Geräte	begrenzt durch den IP-Adressraum
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	nur durch IP-Routing möglich
Unterstützung mobiler Teilnehmer	nur für die Bewegung zwischen Netzwerksegmenten vorhanden
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	vorhanden
Energiebedarf der Grundkommunikation	hoch, durch die Integration von IP
Modularität des Systems	nicht modular
Komplexität der Grundfunktionen	hoch, durch die Integration von IP
Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation	nicht vorhanden (Adressierung durch IP)

Tabelle 3.1 – Bewertung von Mobile IP

3.3 Geocast

Geocast (RFC 2009) [Imielinski & Navas, 1996c] ist ein System zur Unterstützung positionsabhängiger Adressierungs- und Routingtechniken in IP-Netzwerken. Es wurde 1996 von Tomasz Imielinski und Julio C. Navas zum ersten Mal in [Imielinski & Navas, 1996a] vorgestellt. Geocast nutzt die von GPS (Global Positioning System) [Dana, 2000] bereitgestellte Lokationsinformation.

3.3.1 GPS basierte Adressierung

Im Unterschied zu Netzwerken, in denen Teilnehmer adressiert werden, adressiert Geocast räumliche Gebiete und damit alle darin enthaltenen Teilnehmer. Anders als bei dem aus IP-Netzwerken bekannten Multicastverfahren, bei dem mehreren Teilnehmern eine Gruppenadresse zugeordnet wird, werden die Teilnehmer in Geocast-Netzen nicht anhand einer festen Adresse, sondern anhand ihrer augenblicklichen Position angesprochen.

Eine GPS-Koordinate besteht aus zwei 4-Tupeln für Längen- und Breitenangaben:

<Richtung, Grad, Minuten, Sekunden>

Dabei gibt die Richtung eine der vier Grundrichtungen Nord (N), Süd (S), für die Längenkoordinate oder West (W), Ost (E), für die Breitenkoordinate an. Der Winkel wird in Grad, Minuten und Sekunden angegeben.

Eine GPS-Koordinate besteht aus 4 Bytes. Damit ist es mit der zivilen GPS-Version möglich, Positionen bis auf etwa 10 m genau anzugeben. Die militärische GPS-Version benutzt 5 Byte große Koordinaten und kann Positionen auf etwa 2 m genau darstellen.

Die Adressierung einer Fläche geschieht über die Angabe der Geometrie eines geschlossenen Polygons und der korrespondierenden Koordinaten:

Kreis(Mittelpunkt, Radius)

Polygon([Länge Punkt 1, Breite Punkt 1],
[Länge Punkt 2, Breite Punkt 2], ...)

Diese Angaben können durch einen Namensdienst, ähnlich dem DNS (Domain Name Service), mit Klartext-Bereichsangaben verknüpft werden. So kann zum Beispiel der Name einer Stadt mit einem Polygon assoziiert werden, welches das geographische Gebiet dieser Stadt umfaßt.

Da Geocast auf IP-Netzwerken aufbaut, müssen zur Auslieferung der Daten die geographischen Angaben mit IP-Adressen verknüpft werden. Dies kann durch verschiedene Routingkonzepte realisiert werden [Imielinski & Navas, 1996b], von denen hier eines beispielhaft vorgestellt wird.

3.3.2 GeoRouting

Ein Geocast-System besteht aus verschiedenen Komponenten, die hier kurz eingeführt werden. Dabei wird auf die in [Navas & Imielinski, 1997] verwendete Namensgebung zurückgegriffen:

GeoNode Ein GeoNode bildet einen Endpunkt des Routingsystems. Der GeoNode ist einem geographischen Gebiet zugeordnet, er nimmt geographische Nachrichten für dieses Gebiet entgegen, speichert sie zwischen und versendet sie in regelmäßigen Zeitintervallen in die an ihn angeschlossenen Subnetze. Darüber hinaus überwacht der GeoNode die Lebensdauer der empfangenen geographischen Nachrichten. Diese Lebensdauer kann vom Sender vorgegeben werden und wird benötigt, da der Empfänger mobil sein kann und erst nachdem der GeoNode die Nachricht empfangen hat in dem, dem GeoNode angeschlossenen Gebiet ankommen kann.

GeoHost: Der GeoHost ist ein Service (Dienst), der auf allen Rechnern, die geographische Nachrichten verarbeiten können, installiert sein muß. Seine Aufgabe ist es, alle lokalen Dienste, die geographische Nachrichten verarbeiten, über neu eingegangene Nachrichten zu informieren und ihnen die aktuelle Position und Adresse ihres GeoNodes mitzuteilen.

GeoRouter: Die Aufgabe der GeoRouter ist es, geographische Nachrichten vom Sender zum Empfänger zu transportieren. Das dabei eingesetzte Verfahren wird im folgenden genauer betrachtet.

34 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

Das geographische Routing beruht auf einer hierarchischen Anordnung der Router. Dabei ist jeder Router für ein bestimmtes geographisches Gebiet verantwortlich. Erhält er eine geographische Nachricht, so extrahiert er deren Ziel-Lokation und berechnet den geometrischen Schnitt zwischen diesem Zielbereich und seinem Zuständigkeitsgebiet. Ist die Ziel-Lokation Teil des Zuständigkeitsbereichs eines Routers, gibt er die empfangene Nachricht an alle ihm nachgeordneten Router weiter. Ist der Schnitt zwischen dem Zuständigkeitsbereich eines GeoRouters und dem Zielbereich einer Nachricht leer, so verwirft dieser Router die Daten. Auf diese Weise werden geographische Nachrichten durch die Router weitergeleitet, bis sie von einem GeoNode an den Empfänger ausgeliefert werden können.

3.3.3 Geocast in UbiComp

Da Geocast, wie das in Abschnitt 3.2 besprochene Mobile IP, auf dem Internet Protokoll aufbaut, unterliegt es bezüglich des verfügbaren Adressraums den gleichen Beschränkungen. Durch die Möglichkeit, geographische Bereiche zu adressieren, kann das System von Kontextinformationen wie der Co-Lokation verschiedener Teilnehmer profitieren. Dazu muß der Sender einer Nachricht diese lediglich bezüglich seiner eigenen aktuellen Lokation adressieren. Mobilität und Dynamik der Teilnehmer wird von Geocast durch die Zusammenarbeit von GeoNode und GeoHost unterstützt. Die hier zum Einsatz kommenden Verfahren zur An- und Abmeldung ähneln den Prozeduren, die bei Mobile IP eingesetzt werden.

Der Energiebedarf eines Geocast Knotens entspricht in etwa dem eines Mobile Nodes, da zur Kommunikationsverwaltung ähnliche Verfahren zur Anwendung kommen. Auch hier liegt der größte Energiebedarf bei den Routern und anderen Infrastrukturgeräten, die ständig aktiv an der Kommunikation teilnehmen müssen, um diese aufrecht zu erhalten. Diese Geräte können aber in den meisten Fällen permanent mit Energie versorgt werden.

Die Komplexität des Systems ist hoch. Eine Implementierung ist sicher nur auf leistungsfähigen Geräten sinnvoll, da alle Teilnehmer neben dem Internet Protokoll auch den GeoHost implementieren müssen.

Ein großer Nachteil für den Einsatz von Geocast in UbiComp Umgebungen ergibt sich aus der Verwendung von GPS zur Bestimmung der Position. Da es sich bei GPS um ein satellitenbasiertes System handelt, können Positionsdaten nur unter freiem Himmel empfangen werden. Die Auflösung der Position der zivil nutzbaren GPS-Version von etwa 10 m ist in freiem Gelände zur Kommunikation ausreichend, genügt aber für die meisten UbiComp Anwendungen, die Lokationsinformationen nutzen, nicht.

3.3.4 Zusammenfassung und Bewertung

Geocast eignet sich bedingt für den Einsatz in UbiComp Umgebungen. Nachteile ergeben sich, wie auch bei Mobile IP, aus der Integration des gesamten Internet Protokolls. Für typische UbiComp Anwendungen sollte das Positionierungssystem ausgetauscht werden.

Anzahl der unterstützten Geräte	begrenzt durch den IP-Adressraum
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	nur durch IP-Routing möglich
Unterstützung mobiler Teilnehmer	vorhanden
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	vorhanden
Energiebedarf der Grundkommunikation	hoch, durch die Integration von IP
Modularität des Systems	gering
Komplexität der Grundfunktionen	hoch, durch die Integration von IP
Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation	vorhanden (sehr grobe Positionsaufklärung)

Tabelle 3.2 – Bewertung von Geocast

Ein wichtiger Vorteil von Geocast besteht in der Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation. Tabelle 3.2 gibt eine zusammenfassende Bewertung des Systems.

3.4 Mobile Ad Hoc Netzwerke

Mobile Ad Hoc Netzwerke bestehen aus mobilen Geräten (Knoten), die untereinander kabellos kommunizieren. Diese Netzwerke zeichnen sich durch das Fehlen von (stationären) Infrastrukturobjekten aus.

Damit ist jeder Knoten im Netzwerk, wie auch das Netzwerk selbst, mobil. Der Vorteil dieser Netze liegt darin, daß sie jederzeit und überall aufgebaut werden können. Der Nachteil, der sich aus dieser Netzwerkstruktur ergibt, liegt darin, daß jedes Gerät im Netzwerk die Routingfunktionen, die in anderen Netzen von Infrastrukturobjekten zur Verfügung gestellt werden, selbst übernehmen muß.

In dieser Arbeit werden mobile Ad Hoc Netzwerke am Beispiel von PEN (Prototype Embedded Network), dem früheren Piconet, behandelt.

3.4.1 PEN (Piconet)

PEN wurde 1997 am Olivetti and Oracle Research Laboratory in Cambridge unter dem Namen Piconet entwickelt [Bennett et al., 1997]. Die Weiterentwicklung unter der Bezeichnung PEN findet in den AT&T Laboratories Cambridge statt [Girling et al., 2000a,b].

36 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

Bei PEN handelt es sich um ein Netzwerk auf Basis einer Funkkommunikation. Es wurde speziell für die Anforderungen in ubiquitären Informationssystemen entwickelt. Dabei standen Anwendungen im Vordergrund, bei denen Geräte kommunizieren, die relativ geringe Mengen an Daten austauschen müssen. Dies zeigt sich in Designentscheidungen, die sowohl die Hardware als auch die eingesetzten Protokolle betreffen.

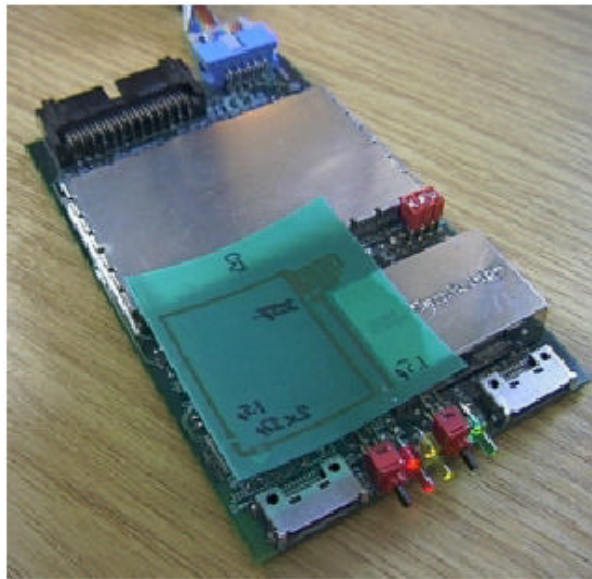


Abbildung 3.1 – Prototyp der Piconet-Hardware

PEN basiert auf einer Funktechnik, die speziell für geringen Energiebedarf, geringe Datenraten und geringe Reichweite ausgelegt ist. Die erreichte Nutzdatenrate liegt bei 9600 Bit pro Sekunde im Halbduplexbetrieb bei einer Reichweite der Kommunikation von etwa 5 m [Bennett et al., 1997]. Beim Einsatz des in [Girling et al., 2000a,b] entwickelten Kommunikationsprotokolls kann ein Knoten, je nach Anwendung, mit einer 9V Lithium Batterie zwischen 20 Stunden und 14 Tagen betrieben werden.

Die Beschränkung des Kommunikationsbereichs auf einen Radius von 5 m kann genutzt werden, um Anwendungen, die auf PEN basieren, die Verarbeitung von Kontextwissen zu ermöglichen. Dies kann zum Beispiel durch die Betrachtung von Co-Lokationsinformationen verschiedener Geräte geschehen.

Die in Abschnitt 3.1.4 geforderte Dynamik des Kommunikationsbereichs wird bei PEN durch ein Auffindeverfahren (Discovery) bereitgestellt. Dabei versenden die Geräte in regelmäßigen zeitlichen Abständen Datenpakete, die Informationen über das sendende Gerät und die von ihm im Netzwerk zur Verfügung gestellten Dienste enthalten, sogenannte Beacons (Leuchfeuer). Diese werden von anderen Knoten in Kommunikationsreichweite empfangen und können von diesen ausgewertet werden.

Das PEN Kommunikationsprotokoll ist in Schichten organisiert. Die Implementierung einiger dieser Schichten ist optional, wodurch die Komplexität des Protokolls reduziert werden kann. So ist die Unterstützung einfachster Knoten möglich, die zum Beispiel lediglich die Funktionalität eines digitalen Schalters bereitstellen. Dabei überträgt der Schalter in Abständen seinen aktuellen Schaltzustand. Diese Information kann dann von anderen Knoten ausgewertet werden.

3.4.2 Location-Aided Routing (LAR)

Wie bereits angesprochen stellt das Routing in mobilen Ad Hoc Netzwerken besondere Anforderungen an die eingesetzten Verfahren. Zum einen unterliegt die Topologie solcher Netzwerke ständigen mitunter schnellen Veränderungen, zum anderen basieren diese Netzwerke in den meisten Fällen auf sogenannten Broadcast-Medien, zu denen auch Funkverbindungen gehören. Diese zeichnen sich dadurch aus, daß alle am Medium angeschlossenen Teilnehmer nicht nur die direkt an sie adressierten, sondern alle gesendeten Datenpakete physikalisch empfangen können. Routingverfahren, die zum Beispiel in IP-Netzwerken eingesetzt werden, liefern unter diesen Voraussetzungen unzureichende Ergebnisse.

Das hier vorgestellte Verfahren Location-Aided Routing (LAR) [Ko & Vaidya, 1998] ist für Ubicomp Umgebungen von Interesse, da es die Lokationsinformation der Knoten im Netzwerk zur Berechnung einer optimalen Route zwischen Sender und Empfänger nutzt. LAR stellt also selbst eine Art kontextabhängige Anwendung dar.

In der von Ko und Vaidya vorgestellten Form greift LAR zur Bestimmung der Position eines Knotens auf GPS zurück. Auf die durch GPS entstehenden Probleme in typischen Ubicomp Umgebungen wurde bereits in Abschnitt 3.3.3 hingewiesen. Die von GPS bereitgestellten Daten sind aber leicht durch andere Positionsdaten zu ersetzen, welche zum Beispiel aus einem PEN gewonnen werden können. Die Lokationsinformationen können dabei zum Beispiel aus der Analyse der Signallaufzeiten zwischen verschiedenen Kommunikationspartnern gewonnen werden.

LAR versucht das Routing in mobilen Ad Hoc Netzwerken zu optimieren, indem Daten räumlich in die Richtung des Empfängers geleitet werden.

3.4.3 Zusammenfassung und Bewertung

Mobile Ad Hoc Netzwerke eignen sich relativ gut zur Realisierung von Kommunikationssystemen für Ubiquitous Computing Umgebungen. Ihr Vorteil besteht in der Unabhängigkeit von Infrastruktur und der extremen Mobilität.

Nachteil mobiler Ad Hoc Netzwerke ist, wie bereits erwähnt, die Realisierung von Routingverfahren auf den einzelnen Knoten im Netzwerk. Dadurch wird nicht nur die Rechenleistung der Geräte im Netzwerk beansprucht, es ist in dieser Art Netzwerke auch nicht möglich, zuverlässig Kommunikationsverbindungen aufzubauen. Der Grund dafür ist, daß in mobilen Ad Hoc Netzwerken nicht sichergestellt werden kann, daß eine Route von einem Knoten zu einem anderen existiert. Auch kann nicht sichergestellt werden, daß eine existierende Route über längere Zeit zur Verfügung stehen

38 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

wird, da sich, durch die Bewegung der Knoten, Teilnetze separieren können, zwischen denen ein Datenaustausch aufgrund der Entfernung der einzelnen Knoten nicht mehr möglich ist.

Tabelle 3.3 gibt eine zusammenfassende Bewertung der Eigenschaften von mobilen Ad Hoc Netzwerken.

Anzahl der unterstützten Geräte	32-Bit Teilnehmeradresse
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	begrenzt auf 5 m (RF Reichweite)
Unterstützung mobiler Teilnehmer	vorhanden
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	vorhanden
Energiebedarf der Grundkommunikation	gering, durch zeitweise Abschaltung der Kommunikationshardware
Modularität des Systems	hoch
Komplexität der Grundfunktionen	variabel, durch die optionale Implementierung verschiedener Schichten
Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation	vorhanden, durch Ausnutzung der Reichweitenbeschränkung

Tabelle 3.3 – Bewertung von mobilen Ad Hoc Netzwerken

3.5 Smart Dust

Bei Smart Dust handelt es sich um ein Netzwerk, welches aus kleinen drahtlosen Sensoren besteht [Pister et al., 1998] [Kahn et al., 1999] [Kahn et al., 2000]. Diese Sensoren haben eine Größe von lediglich wenigen Kubikmillimetern.

Das bei Smart Dust angewandte Konzept liefert zwar kein für allgemeine Ubicomp Systeme nutzbares Kommunikationssystem, es illustriert aber eine extreme Adaption eines Kommunikationssystems auf die Anforderungen der Anwendung beziehungsweise des Hardwaredesigns. Aus diesem Grund bleibt das System bei dem abschließenden Vergleich der untersuchten Kommunikationssysteme unberücksichtigt.

Ein Smart Dust Knoten besteht im wesentlichen aus Sensoren, die Umgebungsdaten sammeln und die sich von Anwendung zu Anwendung in ihrer Funktionalität unterscheiden können, einer Batterie, die etwa 1 Joule Energie speichern kann, einer Solarzelle, einem Photodetektor, einer Laserdiode und einem passiven Spiegelüberträger (CCR, Corner-Cube Retroreflector).

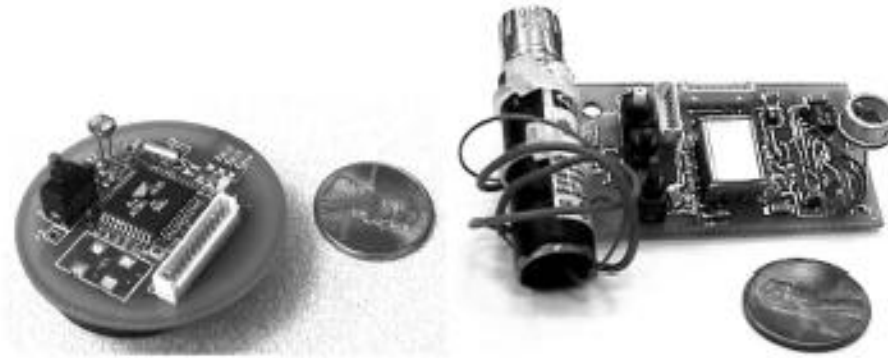


Abbildung 3.2 – Prototypen von Smart Dust Sensor-Knoten (Mots-Dust)

Die optische Kommunikation ist entweder von „Staubkorn zu Staubkorn“ (Peer-to-Peer) oder von einem Smart Dust Knoten zu einer Basisstation möglich. Im Betrieb nehmen die Smart Dust Knoten laut [Pister et al., 1998] lediglich wenige Milliwatt Leistung auf und können dennoch mittels des CCR mit einer Geschwindigkeit von einem Kilobit pro Sekunde Daten verschicken.

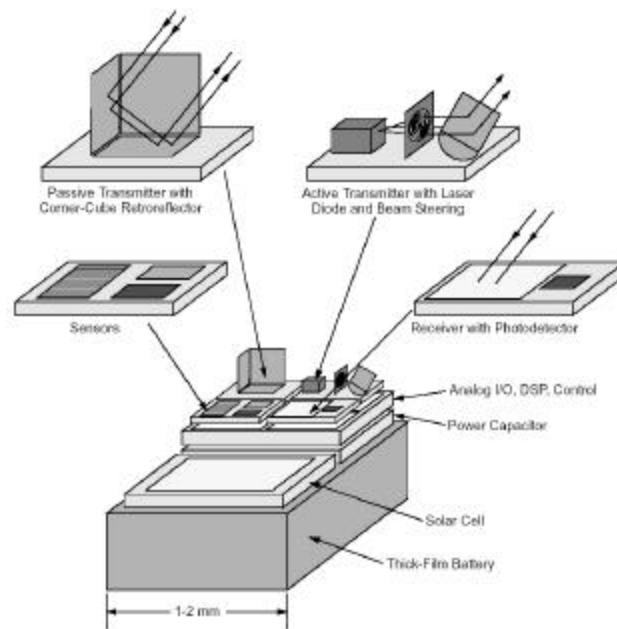


Abbildung 3.3 – Schematische Darstellung eines Smart Dust Knotens

Laut den Entwicklern liegen Anwendungen für Smart Dust zum Beispiel in der großflächigen Erfassung von Umweltdaten. Dazu könnte der Smart Dust über ein Gebiet verteilt werden und die gewonnenen Daten durch eine Basiseinheit im Überflug gesammelt werden.

Leider geben die vorliegenden Quellen keinen Aufschluß über das zum Einsatz kommende Netzwerkprotokoll, so daß kaum Aussagen über die Erfüllung der in Abschnitt 3.1 erarbeiteten Anforderungen möglich sind. Die Unterstützung vieler Geräte ist sicherlich eine der Grundvoraussetzungen für die von den Autoren vorgestellten Beispielanwendungen. Der Einsatz einer gerichteten optischen Kommunikation beschränkt den Kommunikationsraum auf Sichtverbindungen. Der Energiebedarf der einzelnen Smart Dust Knoten ist extrem gering. Die geringe Größe und der geringe Energiebedarf der Geräte lassen darauf schließen, daß kein komplexes Protokoll implementiert ist.

3.6 Vergleich der vorgestellten Systeme

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick und abschließenden Vergleich der Eigenschaften der vorgestellten Kommunikationssysteme. Tabelle 3.4 stellt noch einmal die in Abschnitt 3.1 identifizierten wünschenswerten Eigenschaften eines Kommunikationssystems für Ubiquitous Computing Umgebungen zusammen und gibt einen Überblick, inwieweit die vorgestellten Systeme diese Eigenschaften realisieren.

	Mobile IP	Geocast	Mobile Ad Hoc Netzwerke
Anzahl der unterstützten Geräte	+	+	+
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	-	-	=
Unterstützung mobiler Teilnehmer	=	+	++
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	+	+	+
Energiebedarf der Grundkommunikation	--	--	+
Modularität des Systems	--	--	+
Komplexität der Grundfunktionen	--	--	+
Unterstützung lokations-basierter Kommunikation	-	=	+

Tabelle 3.4 – Vergleich der vorgestellten Kommunikationssysteme

Die Bewertung der Systeme in Tabelle 3.4 ist, in fünf Schritten, abgestuft von „sehr ungünstig für den Einsatz in Ubicomp Umgebungen“ (-), über „neutral“ (=), bis „sehr vorteilhaft für Ubiquitous Computing Systeme“ (++).

3.7 Ergebnisse und Zusammenfassung

Mit den Ergebnissen aus der Analyse von Kommunikationssystemen und der Betrachtung der Verarbeitung von Kontext in Ubicomp Umgebungen zur Unterstützung der Kommunikation, lassen sich die wünschenswerten Eigenschaften eines Kommunikationssystems für Ubiquitous Computing Umgebungen konkretisieren. Hier soll gleichzeitig eine Einschätzung über die Umsetzbarkeit dieser Eigenschaften in einem realen System gegeben werden.

Ein System, welches sowohl den Datenaustausch zwischen einfachsten Artefakten, als auch die integrierte Kommunikation von Laptop-Computern und Personal Computern in Ubiquitous Computing Umgebungen unterstützt, sollte

- nicht die im System einsetzbare Hardware beschränken. Dieser Forderung kann sicher nicht in vollem Umfang entsprochen werden, da Hardware zur Kommunikation immer gewisse Mindestanforderungen erfüllen muß. Die Einschränkungen, die das Kommunikationssystem vorgibt, sollten aber möglichst gering ausfallen;
- die Kommunikation zwischen einer großen Anzahl Geräte ermöglichen. Unter anderem wird die Skalierbarkeit durch einen ausreichend großen Adressraum oder die Kombination verschiedener Adressierungsschemata gewährleistet;
- lokationsbasierte Kommunikation unterstützen. Wie gezeigt, ist diese Form der Kommunikation und Interaktion der des Benutzers am ähnlichsten. Dies vereinfacht die intuitive Benutzung interaktiver Ubicomp Systeme, da ein direkter Bezug zwischen der physikalischen Anordnung der enthaltenen Artefakte und deren logischer Kommunikation hergestellt werden kann;
- mobile wie auch stationäre Geräte ideal anbinden. Dabei sollten die zur Verfügung stehenden Ressourcen genutzt werden. Dies kann durch die Integration verschiedener Medien zur mobilen und stationären Datenübertragung geschehen;
- Verfahren unterstützen, die eine fließende Integration neuer Artefakte in eine bestehende Ubicomp Umgebung ermöglichen. Artefakte sollten zwischen verschiedenen, auch nicht untereinander verbundenen, Ubicomp Systemen bewegt werden können, ohne daß ein Eingriff des Benutzers in die Konfiguration des Geräts nötig wird;
- die Möglichkeit bieten, verlässliche Verbindungen aufzubauen. Verlässlichkeit steht hier für die Eigenschaft, die korrekte Auslieferung von Daten garantieren

42 | Kommunikation in Ubiquitous Computing

zu können. Verbindungen dieser Art sind Voraussetzung für eine Vielzahl von Anwendungen;

- modular gestaltet sein. Ist das System modular aufgebaut, können sowohl einfachste Artefakte als auch leistungsstarke Geräte integriert werden. Das Kommunikationssystem kann dann den Anforderungen der auf den Artefakten implementierten Anwendungen angepaßt werden. Der Bedarf an Rechenleistung und verfügbarem Speicher sollte möglichst gering sein;
- den Energiebedarf der Artefakte berücksichtigen. Auch hier ist eine Integration unterschiedlicher Übertragungsmedien und die Reduktion der Komplexität des Systems durch einen modularen Aufbau von Vorteil;
- bezüglich seiner Komplexität an die zu erfüllende Aufgabe und damit an das Gerät, auf dem es implementiert wird, anpassbar sein. Auch dieser Punkt verdeutlicht die Vorteile modularer Lösungen.

In dieser Arbeit wurde das von Michael Beigl entwickelte RAUM-System [Beigl, 2001] zur Realisierung einer grundlegenden Kommunikationsstruktur für Ubiquitous Computing Umgebungen und speziell interaktive Räume gewählt.

Dieses System bringt bereits einige der identifizierten Eigenschaften mit. Andere wurden im Laufe der Arbeit ergänzt.

Die weitere Arbeit führt in die Architektur des RAUM-Systems ein, beschreibt die Nutzung und Verarbeitung von Lokationsinformationen und erläutert die Implementierung eines Referenz-Systems auf Basis der RAUM-Architektur. Sie schließt mit der Zusammenfassung der Ergebnisse, die bei der Evaluierung des Referenz-Systems in der Praxis gewonnen wurden.

4 Architektur des RAUM-Systems

Dieses Kapitel beschreibt die Architektur des RAUM-Systems. Beginnend mit einem allgemeinen Überblick über die Funktionalität wird das RAUM-System eingeführt. Anschließend wird das im RAUM-System eingesetzte Lokationssystem erläutert und auf die Funktion und Struktur von RÄUMen eingegangen.

Die Beschreibung der Verwaltungsstrukturen für RÄUMe, die RAUM Listen, und die Einführung der Operatoren, welche die Interaktionsschnittstelle des RAUM-Systems darstellen, sind weitere Themen. Das Kapitel schließt mit einer Darstellung der Kommunikationsabläufe im RAUM-System.

4.1 RAUM-Architektur: Lokationsbasierte Kommunikation

Das von Michael Beigl entwickelte RAUM-System [Beigl, 1999] [Hupfeld & Beigl, 2000] [Beigl, 2001] ist ein Kommunikationssystem, das speziell für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen entwickelt wurde. Es unterstützt lokationsbasierte Kommunikation in interaktiven Räumen. Als interaktive Räume werden dabei Räumlichkeiten bezeichnet, welche Gegenstände enthalten, die sowohl mit Computer- wie auch mit Kommunikationstechnologie ausgestattet sind. Durch den Begriff der interaktiven Räume werden die Eigenschaften der hier betrachteten UbiComp Umgebungen konkretisiert.

Dieser einführende Abschnitt soll einen Überblick über die Funktionsweise und Organisation des RAUM-Systems geben.

4.1.1 Lokationsbasierte Kommunikation

Das RAUM-System unterstützt lokationsbasierte Kommunikation in der bereits in Kapitel 2 beschriebenen Form. Die räumliche Organisation der Kommunikation beruht auf der Definition von Interessensbereichen mit verschiedenen kommunikativen Eigenschaften. Diese werden als RAUM (Plural RÄUMe) bezeichnet.

RÄUMe ermöglichen die lokationsbasierte Auswahl von Kommunikationspartnern. Dabei wird die räumliche Nähe der Artefakte genutzt, um einen gemeinsamen Kontext zu generieren. Dieser besteht im RAUM-System in der Zugehörigkeit zu einer räumlichen Relation von Anwendungsobjekten. Die Kommunikation im RAUM-System bleibt dabei auf die definierten RÄUMe begrenzt.

Der Definition von RÄUMen zur Kommunikation liegt ein, speziell für die Anforderungen des RAUM-Systems entwickeltes, Lokationssystem zugrunde. Um die Flexibilität des Gesamtsystems nicht einzuschränken, wurde auf die Definition eines konkreten Verfahrens zur Positionsbestimmung verzichtet. Das verwendete Lokationssystem ist offen für den Einsatz verschiedenster aktiver oder passiver Positionierungssysteme. Es

definiert lediglich ein Schema zur Repräsentation, Verarbeitung und Nutzung von Lokationsinformationen.

4.1.2 Organisation des Kommunikationssystems

Die Architektur des RAUM-Systems ist in Schichten gegliedert. Ihre Aufgaben werden in Analogie zu den Funktionen der Schichten des ISO/OSI Basisreferenzmodells erörtert. Die Organisation des Kommunikationssystems in Schichten ermöglicht einen modularen Aufbau konkreter Implementierungen und gestattet eine flexible Anpassung des Systems an die verschiedensten Kommunikationsmedien.

Durch die in dieser Arbeit vorgenommene Integration von Mechanismen zur diversifizierten Kommunikation wird das System auch für den parallelen Einsatz verschiedener Vermittlungsprotokolle geöffnet. Dies vereinfacht die Integration von Kommunikationsanwendungen, die auf bestehenden Vermittlungsprotokollen basieren.

4.2 Aufbau des Lokationssystems

Wie in Kapitel 3 erwähnt, eignen sich die meisten am Markt befindlichen Lokationssysteme nur bedingt für den Einsatz in Ubicomp Umgebungen. Sie stehen zum Teil nur außerhalb geschlossener Gebäude zur Verfügung, bieten eine zu grobe Granularität der Positionsauflösung oder erzeugen zu große Datensätze.

4.2.1 Lokationssysteme für Ubicomp

Als Alternative kommen Systeme in Betracht, die für Anwendungen in Ubicomp Umgebungen entwickelt wurden. Ein Beispiel für ein solches System ist das Active Badge Lokationssystem [Want et al., 1992], das in den Olivetti Research Laboratories entwickelt wurde.

Dieses System besteht aus aktiven Sendern (Badges), die in regelmäßigen Abständen eine Identifikation senden, die von Empfängern in der Umgebung aufgenommen wird. Die Badges können an mobilen Artefakten oder der Kleidung von Personen befestigt werden. Die Empfänger sind fest installiert und ändern ihre Position somit nicht. Wird von einem dieser Sensoren die Identifikation (ID) eines Badges empfangen, wird diese ID in Verbindung mit der Positionsangabe des Empfängers und einem Zeitstempel in einer Tabelle abgelegt.

Jedoch birgt dieses System einige Nachteile: Die Granularität der Lokationsinformation ist relativ grob, da die Badges aktiv ihre ID senden müssen. Da auch hier der Energieverbrauch beachtet werden muß, kann nur etwa alle 15 Sekunden ein Signal gesendet werden. Dies führt dazu, daß die Position eines Badges in den Intervallen zwischen den Sendungen der ID nur in Abhängigkeit zu seiner durchschnittlichen Bewegungsgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Ferner müssen alle Empfänger mit der Infrastruktur des Netzwerks verbunden sein, da die Lokationsdaten zentral verwaltet werden.

Ein anderes System zur Bestimmung der Lokation ist das Bat Ultrasonic Location System [Harter et al., 1999] [Addlesee et al., 2001]. Ähnlich wie das Active Badge System, arbeitet das Bat System mit aktiven Sendern, die an den zu lokalisierenden Objekten befestigt werden können. Die Positionsbestimmung geschieht hier allerdings durch Laufzeitberechnungen der ausgesendeten Signale zwischen zahlreichen Empfängern, deren Position im System bekannt ist. Durch die Positionierung dieser Empfänger an der Decke und den Wänden eines Raums ist es möglich, die Position eines Senders genauer als im Active Badge System und in drei Raumdimensionen zu bestimmen.

Als weiteres System zur Lokationsbestimmung soll hier das Cricket Location System [Nisanka et al., 2000] [Nisanka et al., 2001] vorgestellt werden. Dieses System arbeitet, im Gegensatz zu den zuvor genannten Systemen, nicht mit aktiven mobilen Sendern, sondern mit aktiven Beacons, die an statischen Positionen in der Umgebung befestigt sind. Diese senden eine RF Identifikation (RF-ID) und ein Ultraschallsignal. Die passiven Empfänger, die an den zu lokalisierenden Objekten befestigt werden, werten die RF-ID aus und lauschen dann auf den dazugehörigen Ultraschallimpuls. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Empfang der RF-ID und dem Ultraschallimpuls berechnen sie die Entfernung zu den einzelnen Beacons. Aus dieser Information wird dann die aktuelle Position abgeleitet.

4.2.2 RAUM-Lokationssystem

Das hier vorgestellte RAUM-Lokationssystem versucht Nachteile, wie sie beim Active Badge System und Bat System durch die zentrale Verwaltung der Lokationsinformation auftreten, zu vermeiden. Zur Lokationsbestimmung wird ein System eingesetzt, welches dem Cricket System ähnelt. Es arbeitet mit aktiven Beacons und passiven mobilen Empfängern. Dabei übertragen die Beacons in einem kleinen Bereich direkt ihre eigene Lokation, die von den Empfängern übernommen wird.

Zur genaueren Bestimmung der Position ist, bei einer Weiterentwicklung des RAUM-Systems, eine Integration eines messenden Systems, wie des Cricket Systems sinnvoll.

Das System, welches im RAUM-System zum Einsatz kommt, bedient sich der Ausnutzung von Domänenwissen zur effizienten Verwaltung von Lokationsinformationen. Die Umgebung, die mit Lokationsinformationen versorgt werden soll, wird dabei durch eine Baumstruktur repräsentiert. Der Vorteil dieser Form der Darstellung von Lokationen liegt in der guten Komprimierbarkeit und vor allem in der Möglichkeit, sowohl semantische als auch geometrische Orts- und Bereichsangaben in einer einzigen Datenstruktur verwalten zu können.

Die Beschreibung einer Lokation wird im RAUM-System in zwei Teile gegliedert, einen semantischen und einen geometrischen. Semantische Ortsangaben dienen der Beschreibung einer Lokation in natürlicher Sprache, wie zum Beispiel „Raum R13“ oder „Poolraum“. Über eine hierarchische Anordnung derartiger semantischer Lokationsangaben ist es möglich, „in“-Beziehungen darzustellen. Ein Beispiel hierfür ist: „Der Poolraum im Telecooperation Office am Institut für Telematik in der Universität Karlsruhe“, das in Abbildung 4.1 grafisch dargestellt ist.

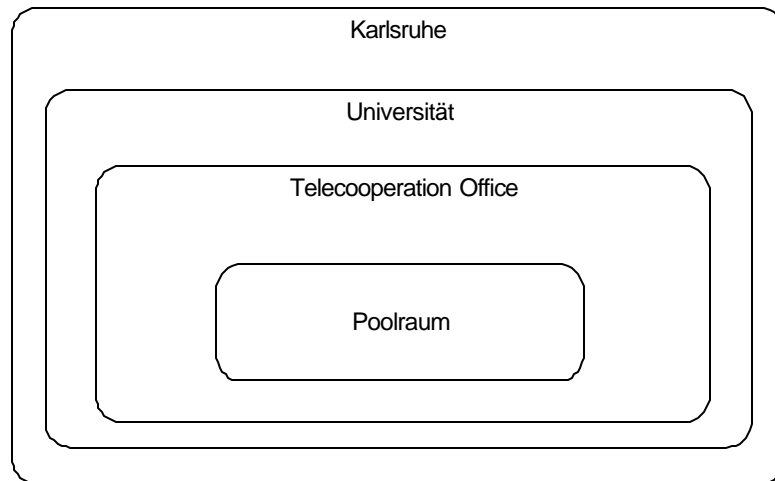


Abbildung 4.1- Inklusion von semantischen Lokationsangaben

Unter geometrischen Lokationsangaben versteht man die Angabe einer Position in geometrischen Koordinaten bezüglich eines vorher festgelegten Nullpunktes. Im RAUM-System wird jeder semantischen Lokationsbeschreibung ein solcher Nullpunkt zugeordnet. Die semantische Beschreibung der Lokation in Abbildung 4.1 kann somit um eine geometrische Angabe bezüglich des im Poolraum definierten Nullpunkts erweitert werden.

Werden zu einer semantischen Beschreibungsebene mehrere Unterebenen definiert, eignet sich ein Baum zur Darstellung der entstehenden Struktur.

4.2.3 Lokationsbaum

Der im RAUM-System zum Einsatz kommende Lokationsbaum besteht aus drei Komponenten: Der Wurzel des Lokationsbaums, semantischen Ebenen und einer Positionsangabe in dreidimensionalen kartesischen Koordinaten, wobei die Angabe semantischer Ebenen und der Position optional geschehen können.

Die Wurzel des Lokationsbaums stellt die semantische Repräsentation des gesamten Kommunikationsraums des RAUM-Systems dar. Sie enthält eine textuelle Beschreibung des Kommunikationsraums, wie zum Beispiel den Namen der Firma, des Instituts oder der Organisation, in dem das System eingesetzt wird. Diese textuelle Beschreibung wird durch eine eindeutige Identifikation des Kommunikationsraums ergänzt. Diese wird als Root-ID bezeichnet. Sie ist nötig, um Kommunikationsverbindungen zwischen verschiedenen Installationen des RAUM-Systems zu ermöglichen. Als Root-ID kann zum Beispiel die IP-Adresse einer Organisation dienen, um die Kompatibilität mit bestehenden IP-Netzwerken zu gewährleisten.

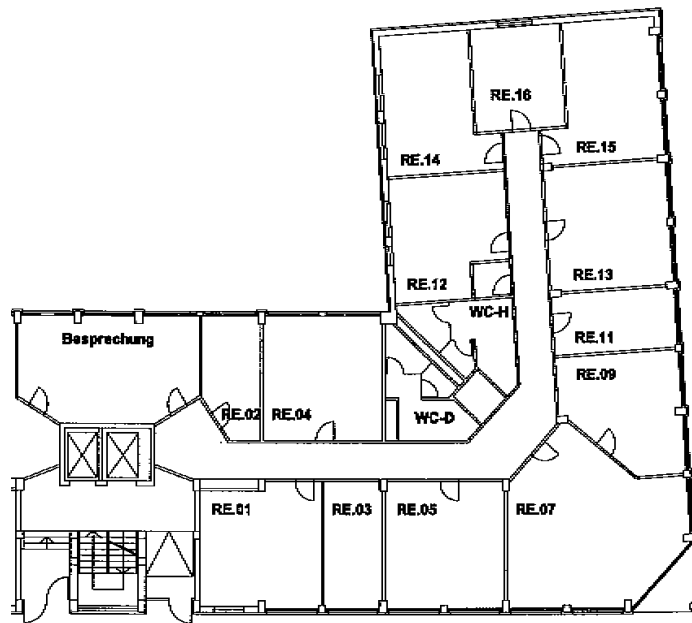


Abbildung 4.2 – Grundriß des Telecooperation Office (TecO), Institut für Telematik an der Universität Karlsruhe

Als Beispiel für den Aufbau eines Lokationsbaums dient in dieser Arbeit das Telecooperation Office (TecO), das Teil des Instituts für Telematik an der Universität Karlsruhe ist. In dieser Umgebung wurde auch die in Kapitel 6 beschriebene Evaluierung des RAUM-Systems durchgeführt. Abbildung 4.2 zeigt den Bereich, der durch das RAUM-System abgedeckt und hier durch den Lokationsbaum repräsentiert wird.

Die Wurzel des hier verwendeten Lokationsbaums wurde, wie Abbildung 4.4 zeigt, mit „TecO“ benannt. Auf die Wurzel folgen bis zu drei semantische Beschreibungsebenen. Diese optionalen Ebenen können genutzt werden, um Lokationen mit gleichem Kontext zu gruppieren. Zum Beispiel kann es von Interesse sein, mit allen Artefakten, die sich in Büros befinden, oder mit allen Artefakten in einem bestimmten Büro, zu kommunizieren.

Die Einteilung und Struktur dieser Ebenen muß bei der initialen Konfiguration des RAUM-Systems festgelegt werden. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, den vollständigen Lokationsbaum auf jedem Artefakt zu speichern.

Die unterste semantische Schicht eines Astes des Lokationsbaums kann durch die Angabe einer Position in kartesischen Koordinaten erweitert werden. Die Darstellung dieser Position erfolgt bezüglich eines lokalen Nullpunkts dieser Ebene.

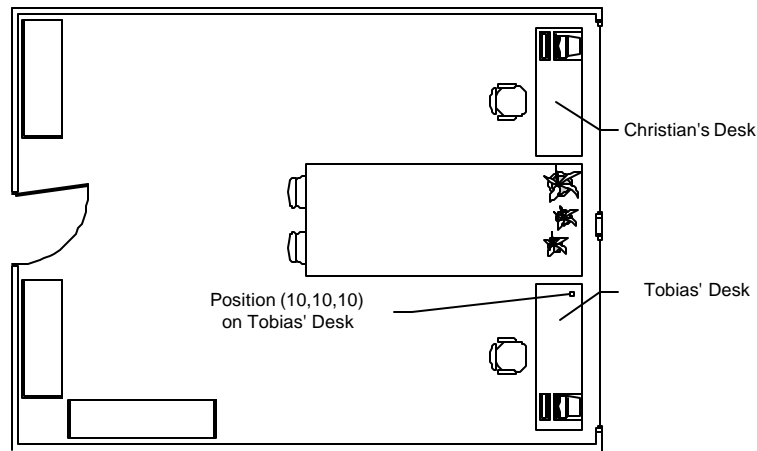


Abbildung 4.3 – Grundriß eines Büroraums im TecO (RE.13)

Das auf dem Grundriß in Abbildung 4.2 mit RE.13 bezeichnete Büro ist in Abbildung 4.3 detailliert dargestellt. Bezogen auf den Lokationsbaum ist das Büro in der Mitte horizontal geteilt. Der obere Teil wird dabei durch einen Knoten repräsentiert, der mit „Christian“ benannt werden kann, der untere Teil wird durch einen Knoten repräsentiert, der mit „Tobias“ bezeichnet ist. Der im Lokationsbaum in Abbildung 4.4 schattiert dargestellte Pfad repräsentiert die Position (10, 10, 10) auf dem Schreibtisch in der unteren Hälfte der Abbildung 4.3.

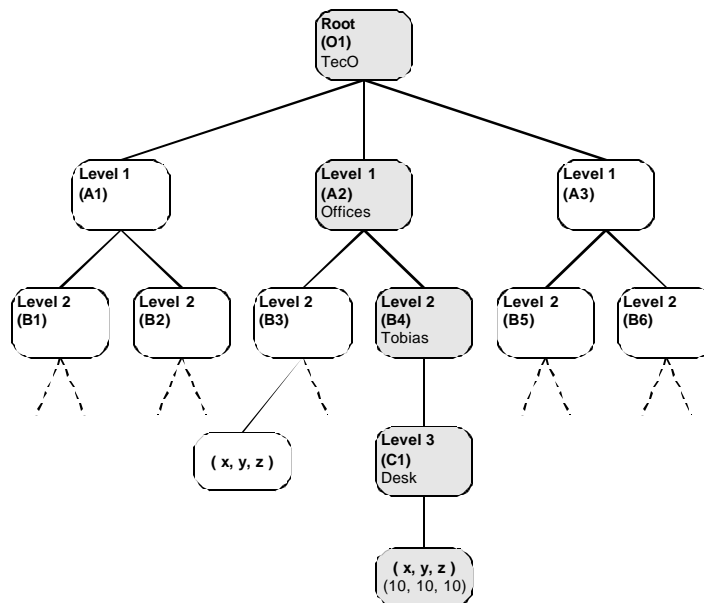


Abbildung 4.4 – Beispiel eines Lokationsbaums

Zur Vereinfachung der Handhabung von Lokationsbeschreibungen wird der Pfad in einem Lokationsbaum durch eine textuelle Beschreibung repräsentiert. Diese kann zur Weiterverarbeitung im Lokationssystem komprimiert werden. Die Lokationsangabe aus Abbildung 4.4 wird wie folgt dargestellt:

```
TecO,Offices,Tobias,Desk,(10,10,10)
```

Wie im Kapitel „Implementierung des RAUM-Systems“ gezeigt wird, ist es damit möglich, eine vollständige Lokationsangabe in nur 32 Byte zu speichern.

4.3 Schichten des RAUM-Systems

Das RAUM-System ist in Schichten organisiert, die untereinander über Dienstzugangspunkte kommunizieren. Die Funktionalität der Schichten kann zu der der Schichten des ISO/OSI Basisreferenzmodells in Beziehung gesetzt werden. Der RAUM-Stack besteht aus vier Schichten, wobei die dritte Schicht, die der Vermittlungsschicht im ISO/OSI Modell entspricht, in zwei Teilschichten aufgespalten ist. Tabelle 4.1 zeigt einen Überblick über die Schichten des RAUM-Systems und des ISO/OSI Modells.

RAUM-Schichten	ISO/OSI Schichtnummer	ISO/OSI Schichtbezeichnung
Anwendungsschicht	7	Anwendungsschicht
Ereignisschicht	4 – 6	Präsentations-, Sitzungs-, Transportschicht
RAUM-Schicht	3.2	Vermittlungsschicht
Diversifikationsschicht	3.1	-
Kommunikationsschicht	1 - 2	Sicherungs-, Bitübertragungsschicht

Tabelle 4.1 – Schichten des RAUM-Systems und des ISO/OSI Modells

4.3.1 Kommunikationsschicht

Die Kommunikationsschicht des RAUM-Systems umfaßt die Funktionalität der Sicherungs- und Bitübertragungsschicht des ISO/OSI Basisreferenzmodells. Da das RAUM-System die Benutzung einer Vielzahl verschiedener Übertragungsmedien unterstützt und der Aufbau der Sicherungsschicht eng mit den Eigenschaften der Bitübertragungsschicht verknüpft ist, wurden diese Schichten im RAUM-System zu einer Kommunikationsschicht zusammengefaßt.

50 | Architektur des RAUM-Systems

Die Kommunikationsschicht vereint so mehrere Instanzen von Sicherungsschichtprotokollen und Bitübertragungsverfahren, die im RAUM-System parallel zum Einsatz kommen können. Sie dient zur Bereitstellung der Grundkommunikationsfunktionen in einem heterogenen Netzwerk.

Die Realisierung verschiedener Medienzugriffsverfahren und Sicherungsprotokolle wird in Kapitel 5 „Implementierung des RAUM-Systems“ anhand der Implementierung eines Referenz-Stacks gezeigt.

4.3.2 Diversifikationsschicht – DiNet

Oberhalb der Kommunikationsschicht befindet sich die Vermittlungsschicht des RAUM-Systems. Diese wird in zwei Teilschichten untergliedert: Die in dieser Arbeit in das RAUM-System integrierte Diversifikationsschicht (DiNet) und die RAUM-Schicht.

Hinter der Idee der diversifizierten Kommunikation in Ubiquitous Computing Umgebungen steht die Beobachtung, daß nie alle Anforderungen an Kommunikationssysteme mit dem Einsatz nur eines einzigen Vermittlungsprotokolls erfüllt werden können. Das RAUM-System unterstützt, wie gezeigt, verschiedene Übertragungsmedien zur Kommunikation. Diese Unterstützung wird durch die Integration der unterschiedlichen Sicherungs- und Bitübertragungsprotokolle in der Kommunikationsschicht des RAUM-Systems erreicht.

Analog zur Funktion der Kommunikationsschicht bietet DiNet die Möglichkeit innerhalb eines homogenen Kommunikationssystems mehrere Vermittlungsprotokolle parallel zu implementieren. Damit können zum Beispiel Vermittlungsprotokolle die, wie IP, identifikationsbasiert arbeiten und dienstorientierte Protokolle wie Jini [Venners, 1999] in das RAUM-System integriert werden. Abbildung 4.5 zeigt die Einbettung von DiNet in die RAUM-Architektur.

Ein Vorteil des Einsatzes der Diversifikationsschicht ist, daß sich bestehende Anwendungen ohne großen zeitlichen und technischen Aufwand in das RAUM-System integrieren lassen. Dadurch wird der parallele Einsatz verschiedener Kommunikationsnetzwerke, zur Unterstützung spezieller Anwendungen in UbiComp Systemen, unnötig. Ein weiterer Vorteil der Integration von DiNet besteht in der Möglichkeit, die verschiedenen implementierten Vermittlungsprotokolle transparent über alle von der Kommunikationsschicht unterstützten Kommunikationsmedien zu übertragen. Eine explizite Umsetzung der verschiedenen Protokolle wird damit unnötig.

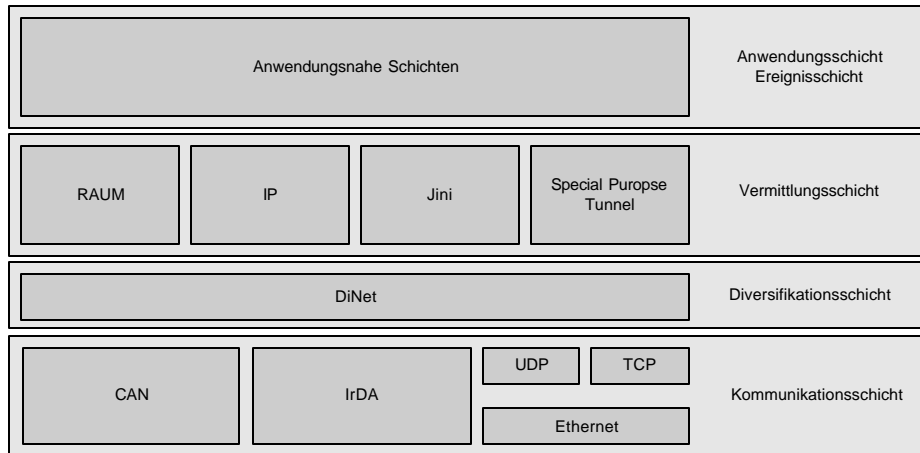


Abbildung 4.5 – Integration von DiNet in die RAUM-Architektur

Ein weiteres Argument für den Einsatz von DiNet ist die effiziente Implementierbarkeit des Systems. Zur Realisierung der Diversifikationsschicht im RAUM-System, wird für jedes übertragene Datenpaket lediglich ein zusätzliches Byte für den Paketkopf (Header) benötigt. Der Aufbau dieses DiNet Header Bytes ist in Tabelle 4.2 dargestellt.

Bit	Funktion
7	Router relevantes Paket
6	Reserviert
5	Reserviert
4	Artefakt relevantes Paket
3	Bits zur Kodierung des Vermittlungsprotokolltyps
2	
1	
0	

Tabelle 4.2 – Aufbau des DiNet Header Bytes

In der aktuellen DiNet Version werden 4 Bit für die Kodierung verschiedener Vermittlungsprotokolle verwendet. Dies erlaubt die Unterscheidung von insgesamt 16 Vermittlungsprotokollen. Wie Abbildung 4.5 zeigt, wurden in dieser Arbeit vier Vermittlungsinstanzen realisiert.

DiNet Header Byte 7	0	Vermittlungsinstanz
1	0 0 1 0 0 0 0	RAUM
1	0 0 1 0 0 0 1	IP
1	0 0 1 0 0 1 0	Jini
1	0 0 1 0 1 0 0	Special Purpose Tunnel

Tabelle 4.3 – Vermittlungsinstanzen im RAUM-System

Die mit „Special Purpose Tunnel“ bezeichnete Instanz stellt einen Rohdatentunnel zur Verfügung, der genutzt werden kann, um Bytefolgen transparent zu übertragen. Dieser wurde zum Beispiel zu Beginn der Evaluierung genutzt, um Datenpakete einer älteren RAUM-Version transparent zu übermitteln.

Tabelle 4.3 enthält die DiNet Header der vier im RAUM-System implementierten Vermittlungsinstanzen.

Die Bits 4 und 7 des DiNet Headers dienen zur Selektion des potentiellen Empfängerkreises eines Datenpakets unabhängig von dem verwendeten Vermittlungsprotokoll. Auf diese Weise können administrative Nachrichten schon in der Diversifikationsschicht von Nutzdaten unterschieden werden.

Dieser Mechanismus kann genutzt werden, um Dienstgütemerkmale (Quality of Service, QoS) im RAUM-System auszuhandeln. Router können zum Beispiel Pakete, in denen das Artefakt-Bit (Bit 4) nicht gesetzt ist, nutzen, um über die Reservierung von Übertragungskapazität der Verbindung zu verhandeln.

Infrastrukturobjekte zur Lokationsverteilung, wie Location Beacons, können Pakete senden, in denen nur das Artefakt-Bit gesetzt ist. So kann verhindert werden, daß diese Lokationsinformationen von Routerobjekten angenommen und weitergeleitet werden.

Die Diversifikationsschicht stellt für jede im Kommunikationssystem implementierte Vermittlungsinstanz einen eigenen Dienstzugangspunkt zur Verfügung, über den diese Daten austauschen. Beim Senden von Daten erzeugt die Diversifikationsschicht den DiNet Header in Abhängigkeit von dem Dienstzugangspunkt, über den sie das Datenpaket erhalten hat.

Empfängt ein Gerät im RAUM-System ein DiNet-Paket, wird der Header des Pakets ausgewertet. Ist das Paket nicht für die Verarbeitung durch den empfangenden Gerätetyp bestimmt, wird es verworfen. Ansonsten wird der DiNet Header vom Paket abgetrennt und die verbleibenden Nutzdaten werden über den entsprechenden Dienstzugangspunkt an die angegebene Vermittlungsinstanz weitergereicht.

4.3.3 RAUM-Schicht

Die RAUM-Schicht stellt die Vermittlungsschicht des RAUM-Systems dar. Der Hauptteil der Funktionalität des RAUM-Systems ist in dieser Schicht angesiedelt. In der RAUM-Schicht werden die aktiven RÄUME verwaltet, administrative Nachrichten zwischen Teilnehmern ausgetauscht und das Routing von RAUM-Paketen vorgenommen. Die RAUM-Schicht ist für die Auswahl von Kommunikationspartnern auf Basis der definierten RÄUME und der Lokation der Kommunikationsteilnehmer verantwortlich.

Die Funktion der einzelnen Komponenten der RAUM-Schicht wird detailliert ab Abschnitt 4.4 in diesem Kapitel beschrieben.

4.3.4 Ereignisschicht

Die Ereignisschicht stellt eine anwendungsnahe Schicht dar. Ihre Implementierung im RAUM-System ist optional. Ist diese Schicht nicht vorhanden, werden die von der RAUM-Schicht übergebenen Ereignisse direkt von der Anwendung interpretiert.

Anwendungen können von der Ereignisschicht profitieren, da diese die Erstellung eines Modells der Umwelt erlaubt, welches als Basis für Entscheidungen der Anwendung dienen kann. Werden von Anwendungen gewisse komplexe Dienstmerkmale gefordert, können diese von der Ereignisschicht bereitgestellt werden. Dazu gehört zum Beispiel die reihenfolgetreue Auslieferung von Daten oder die singuläre Annahme von Paketen.

Bei dem im Rahmen dieser Arbeit implementierten Referenz-System wurde auf den Einsatz einer Ereignisschicht verzichtet, da die Evaluierung der Kommunikationseigenschaften des Systems in dieser Arbeit im Vordergrund stand und nicht die Analyse komplexer Anwendungen für dieses System.

4.3.5 Anwendungsschicht

Die Anwendungsschicht stellt die Schnittstelle zwischen der Anwendung und dem Kommunikationssystem dar. Sie ermöglicht der Anwendung das Senden und Empfangen von Daten und abstrahiert dabei von den systeminternen Funktionen. Mögliche Dienste der Anwendungsschicht beinhalten die Beschreibung der zur Verfügung stehenden Ressourcen oder die Verwaltung von Zugriffsrechten.

Auf dieser Schicht sind die für Anwendungen verfügbaren Funktionen der RAUM-API angesiedelt. Diese werden in Abschnitt 5.4 im Kapitel „Implementierung des RAUM-Systems“ vorgestellt.

Da die Ausprägung der Anwendungsschicht stark von der Ausprägung des Artefakts und damit der Art der Anwendung selbst abhängt, wird in dieser Arbeit auf eine weitere Vertiefung dieses Themas verzichtet.

4.4 RÄUME zur Kommunikation

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Struktur der im RAUM-System definierten RÄUME und den von ihnen unterstützten Kommunikationsbeziehungen. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, dienen die RÄUME zur Strukturierung der Kommunikation und zur Auswahl von Kommunikationspartnern.

RÄUME stellen eine räumliche Relation von Anwendungsobjekten dar. Damit wird von einzelnen Geräten im RAUM-System abstrahiert und die Möglichkeit geschaffen, verschiedene Anwendungsobjekte auf einem Artefakt unabhängig voneinander zu implementieren.

4.4.1 RAUM

Ein RAUM definiert den Interessensbereich eines Artefakts, beziehungsweise eines Anwendungsobjekts, welches mit diesem Artefakt verknüpft ist. Der RAUM besitzt dann zwei Repräsentationen: Eine in der realen und eine in der virtuellen Welt.

Zur Vereinfachung der Darstellung wird im folgenden davon ausgegangen, daß mit jedem Artefakt nur ein Anwendungsobjekt verknüpft ist. Dies vermeidet die Differenzierung zwischen dem Interessensbereich des Artefakts und den Interessensbereichen der einzelnen Anwendungsobjekte, da der Interessensbereich eines Artefakts, genau genommen, aus der geometrischen Hülle der Interessensbereiche seiner Anwendungsobjekte besteht. Der Begriff Artefakt wird fortan synonym für das von ihm repräsentierte Anwendungsobjekt benutzt.

In der realen Welt besteht ein RAUM aus einer Menge von zusammenhängenden Raumpunkten oder geometrischen Positionen. Diese Menge wird auch als geometrischer Bereich bezeichnet. In der virtuellen Welt wird der geometrische Bereich, der dem Interessensbereich eines Artefakts entspricht, durch eine Relation ρ dargestellt. Die Relation ρ kann gelesen werden als „ist in RAUM“.

Diese logische Repräsentation eines RAUMs in der virtuellen Welt wird genutzt, um den Kommunikationsbereich eines Artefakts zu beeinflussen. Die Inklusionsrelation ρ verfügt neben der Verknüpfung mit einem geometrischen Bereich in der realen Welt über weitere Eigenschaften, die zur Modifikation der Kommunikationsbeziehungen der beteiligten Artefakte eingesetzt werden können. So wird die in Abschnitt 2.4 beschriebene lokationsbasierte Kommunikation ermöglicht.

Die Eigenschaften eines RAUMs, welche die Kommunikation der beteiligten Artefakte beeinflussen, können in zwei Gruppen unterteilt werden: Zum einen die Form des geometrischen Bereichs in der realen Welt, der durch den RAUM repräsentiert wird und zum anderen sein Kommunikationstyp.

4.4.2 Form und Kommunikationstyp

Bei der Definition eines RAUMs wird seine Form (shape) und sein Kommunikationstyp (type) festgelegt.

Die Form eines RAUMs legt den geometrischen Bereich um das definierende Artefakt fest, der von diesem RAUM repräsentiert wird. Das RAUM-System unterstützt kubische RÄUME, zylindrische RÄUME und semantische RÄUME.

Kubische RÄUME werden durch die Angabe der Ausdehnung des Kubus in x-, y- und z-Richtung definiert. Zylindrische RÄUME werden durch die Angabe ihres Radius und ihrer Höhe festgelegt. In beiden Fällen wird angenommen, daß sich das definierende Artefakt im Zentrum des RAUMs befindet.

Dies bedeutet, daß die Position eines RAUMs in der räumlichen Umgebung immer von der aktuellen Position seines definierenden Artefakts abhängt. Dies ist sinnvoll, da sich der Interessensbereich eines Artefakts immer relativ zum Artefakt bewegt. In Folge dessen bewegen sich RÄUME immer mit ihrem definierenden Artefakt.

Bei der Definition von semantischen RÄUMen wird, zur Beschreibung des von ihnen repräsentierten geometrischen Bereichs, auf die semantischen Ebenen des dem RAUM-System zugrunde liegenden Lokationsbaums zurückgegriffen. Ein semantischer RAUM umfaßt somit den Bereich der realen Welt, der durch den korrespondierenden Knoten im Lokationsbaum und dessen Nachfolger repräsentiert wird.

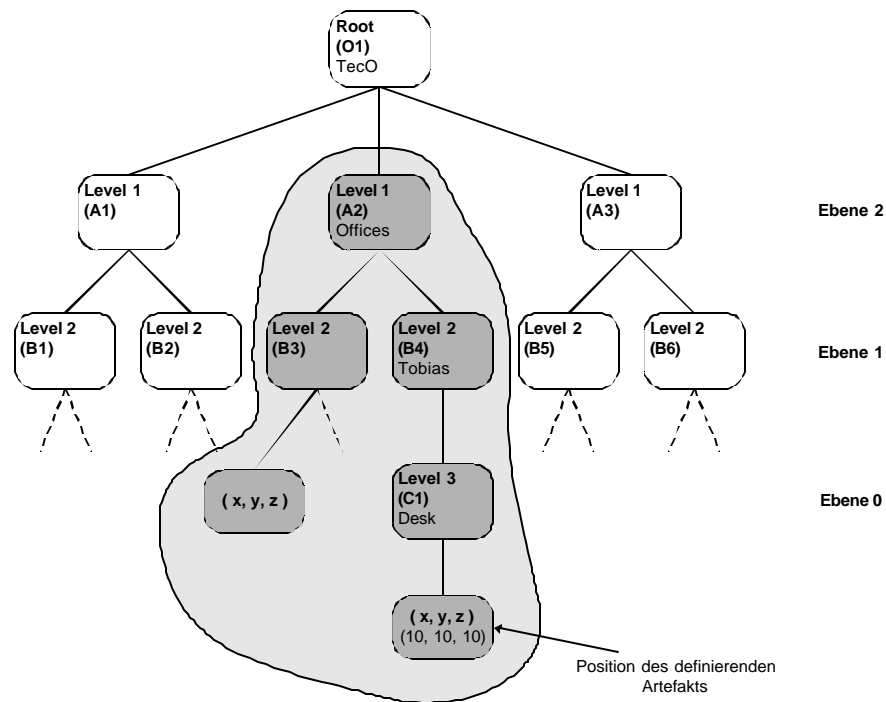


Abbildung 4.6 – Semantischer RAUM der Ebene 2

Die Angabe der Ebene des Lokationsbaums, die ein semantischer RAUM enthält, erfolgt relativ zur aktuellen Position des definierenden Artefakts. Das heißt, ausgehend von dem Knoten, in dem sich die geometrische Position eines Artefakts befindet. Abbildung 4.6 zeigt ein Beispiel eines semantischen RAUMs anhand eines Lokationsbaums.

Die Position des Artefakts befindet sich hier in dem mit (C1) bezeichneten Knoten. Ein semantischer RAUM der Ebene 0 umfaßt den eigenen Knoten (hier (C1)) und damit alle, diesem Knoten zugeordneten, geometrischen Positionen. Das Beispiel in Abbildung 4.6 zeigt einen semantischen RAUM der Ebene 2. Man erkennt, daß ausgehend von dem Knoten des definierenden Artefakts, zwei weitere Ebenen im Lokationsbaum diesem RAUM zugerechnet werden. Damit umfaßt dieser RAUM alle geometrischen Positionen, die dem Knoten (A2) oder einem seiner Nachfolger zugeordnet sind.

Die Tabelle 4.4 gibt einen Überblick, über die verschiedenen RAUM Formen und die zur Definition benötigten Angaben.

RAUM Form	Semantische / Geometrische Angaben
Semantischer RAUM	Ebene im Lokationsbaum die der RAUM umfaßt
Kubischer RAUM	Ausdehnung des Quaders in X-, Y-, und Z-Richtung
Zylindrischer RAUM	Radius und Höhe

Tabelle 4.4 – RAUM Formen in der Übersicht

Zusätzlich zur Form des RAUMs können im RAUM-System bei der Definition von RÄUMen verschiedene Kommunikationsanforderungen berücksichtigt werden. Dazu kann der Kommunikationstyp eines RAUMs festgelegt werden. Dies geschieht unabhängig von der gewählten RAUM Form. Das RAUM-System unterstützt drei Kommunikationstypen:

- **Zuhörer-RAUM:** Ein Artefakt, das einen Zuhörer-RAUM definiert, hört alle Meldungen aller Artefakte in diesem RAUM.
- **Vortragender-RAUM:** Das definierende Artefakt sendet Meldungen an alle Artefakte, die sich in einem RAUM befinden.
- **Diskussions-RAUM:** Alle Artefakte in diesem RAUM können Meldungen an alle anderen Artefakte senden und auch von diesen empfangen.

Wie durch die Festlegung der verschiedenen RAUM-Typen verschiedene Kommunikationsanforderungen unterstützt werden können, wird im Folgenden kurz anhand von Beispielen erläutert [Beigl, 2001].

4.4.3 Zuhörer-RAUM

Ein Zuhörer-RAUM kann zum Beispiel von einem elektronischen Türschild, wie dem SmartDoorPlate [Ringwald, 2000], definiert werden. Der definierte RAUM umfaßt dabei den Raum, an dem das SmartDoorPlate angebracht ist. Es kann dann alle Meldungen empfangen und auswerten, die von Artefakten in diesem RAUM gesendet werden. Eine Anwendung des SmartDoorPlates, die auch zur Evaluierung des Referenz-Systems eingesetzt wurde, ist das Auswerten von Meldungen, die von MediaCups [Beigl et al., 2000] [Gellersen et al., 1999] gesendet werden.

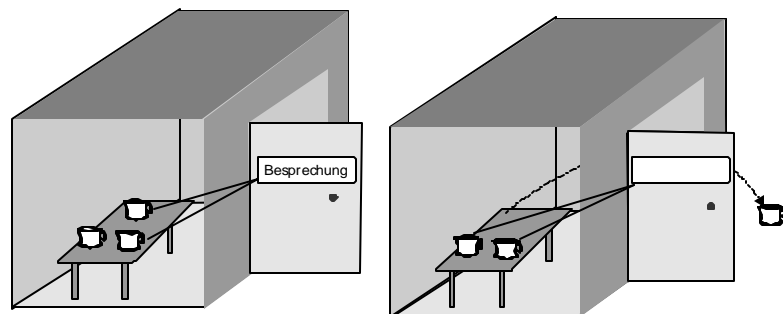


Abbildung 4.7 – Beispiel eines Zuhörer-RAUMs mit SmartDoorPlate und MediaCup

Die MediaCup ist eine Tasse, die verschiedene Informationen über ihren Zustand in interaktive Räume übertragen kann. Empfängt das SmartDoorPlate Daten von mehreren verschiedenen Tassen, so kann die Anwendung aus der Co-Lokation der Tassen auf das Stattfinden einer Besprechung in diesem Raum schließen und einen entsprechenden Hinweis anzeigen.

Wenn eine Tasse, wie Abbildung 4.7 zeigt, den RAUM und damit den Kommunikationsbereich des SmartDoorPlate verläßt, ändert sich der Kontext und die Anzeige kann angepaßt werden.

Zuhörer-RÄUME können allgemein verwendet werden, wenn Anwendungen Gebiete „überwachen“. Überwachung bedeutet hier, daß diese Anwendungen darauf basieren, aus dem Vorhandensein bestimmter Meldungen im RAUM auf Kontexte zu schließen und auf diese zu reagieren.

Eine andere Anwendung, die diesem Prinzip folgt, ist ein „intelligenter Lichtschalter“ (SmartLight), der Meldungen von im RAUM befindlichen Lichtsensoren auswertet und

die Beleuchtung einschaltet, wenn der Durchschnitt der Sensorwerte eine bestimmte Schranke unterschreitet.

Der Vorteil dieser Art der Kommunikation besteht darin, daß die im Raum erzeugten Meldungen nicht exklusiv mit einer bestimmten Anwendung ausgetauscht werden, sondern beliebigen Anwendungen zugänglich sind, wenn diese einen entsprechenden RAUM definieren.

4.4.4 Vortragender-RAUM

Ein Vortragender-RAUM folgt dem umgekehrten Prinzip eines Zuhörer-RAUMs. Er ermöglicht nicht das Empfangen aller Meldungen aus einem RAUM, sondern das aktive Versenden von eigenen Meldungen an alle Artefakte, die sich in dem Gebiet des RAUMs aufhalten.

Dieses System der Verteilung von Daten kann im RAUM-System zum Beispiel für den Aufbau eines passiven Lokationsdienstes genutzt werden. Kleine Sender, sogenannte LocationBeacons, können Vortragende-RÄUME definieren, und in diese eine Lokationsinformation, zum Beispiel in Form eines Lokationsbaumpfades, senden.

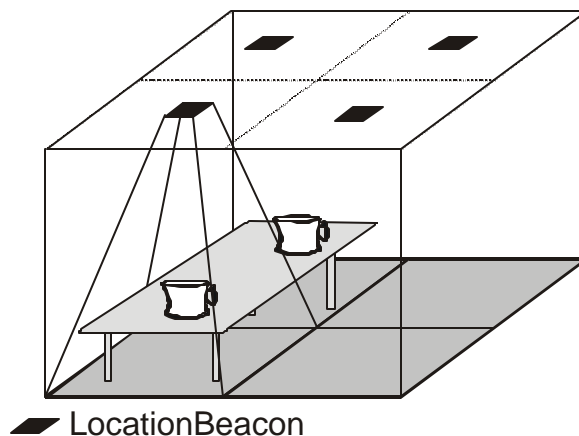


Abbildung 4.8 – LocationBeacon verteilt Lokationsinformation

Artefakte, die sich in dem von einem LocationBeacon definierten Vortragenden-RAUM befinden, können die Lokationsinformation empfangen und erhalten so ihre aktuelle Position im RAUM-System. Der Vorteil einer derartigen passiven Positionsbestimmung liegt darin, daß an keiner Stelle im System die aktuelle Position aller Artefakte hinterlegt wird. Die Zuordnung zwischen Position und Artefakt beziehungsweise Anwendungsobjekt erfolgt nur lokal auf dem jeweiligen Artefakt selbst.

Vortragende-RÄUME können allgemein zur Verteilung von Informationen, wie zum Beispiel Kontexten, benutzt werden. Von Vorteil ist dabei, daß der Sender der Information kein Wissen über die Art oder Anzahl der Artefakte benötigt, welche die von

ihm zur Verfügung gestellten Daten verarbeiten. Der Sender kann einen Vortragenden-RAUM allein auf Grund der Eigenschaften der Daten definieren, die er verteilen möchte. Durch diese Technik ist es zum Beispiel möglich, den zeitlichen und räumlichen Geltungsbereich von Kontexten festzulegen.

4.4.5 Diskussions-RAUM

Der Diskussions-RAUM ermöglicht die gleichberechtigte Kommunikation aller in ihm enthaltenen Artefakte. Hat ein Artefakt einen Diskussions-RAUM definiert, können Meldungen von Artefakten in diesem RAUM gesendet und empfangen werden. Damit stellt dieser RAUM Typ die allgemeinste Form eines Kommunikationsbereichs im RAUM-System dar.

Diskussions-RÄUME können zum Beispiel verwendet werden, um Daten zwischen verschiedenen Anwendungsobjekten abzugleichen. So kann ein Gerät, etwa der PC auf einem Schreibtisch, einen RAUM definieren, in dem alle enthaltenen Artefakte wie PDAs und Mobiltelefone ihre Adress- und Termindaten synchronisieren können.

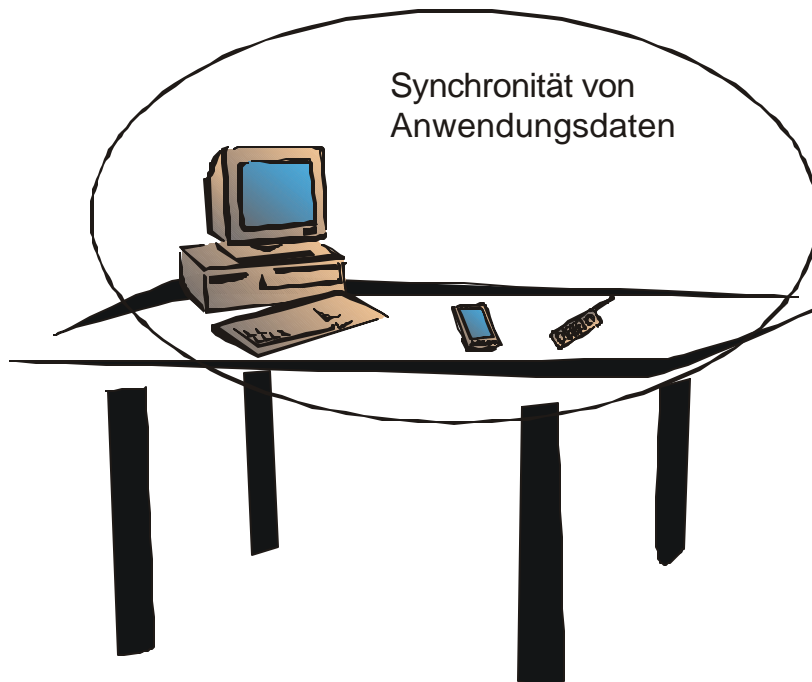


Abbildung 4.9 – Beispiel eines Diskussions-RAUMs am Beispiel der Synchronisierung von Anwendungsdaten

Allgemein eignen sich Diskussions-RÄUME zur Realisierung von Anwendungen, bei denen die Art und Anzahl der gleichberechtigten Kommunikationspartner nicht von Anfang an feststeht.

4.5 RAUM-Listen

Geräte im RAUM-System müssen, um an der Kommunikation teilnehmen zu können, die im System definierten und aktiven RÄUME verwalten können.

Zu diesem Zweck implementieren Objekte im RAUM-System, je eine Liste aller von ihnen definierten RÄUME, die R^d -Liste. Eine weitere Liste, die aus allen RÄUMen des Systems besteht, in denen das Objekt enthalten ist, heißt R^c -Liste.

Auf die konkrete Umsetzung dieser Listen bei der Implementierung des RAUM-Systems wird in Kapitel 5 eingegangen.

4.6 RAUM Operatoren

Dieser Abschnitt beschreibt, die im RAUM-System definierten Operatoren, die Anwendungen, die Interaktion mit dem System ermöglichen. Die Operatoren können entweder den Zustand des Systems verändern oder Informationen über den aktuellen Zustand zurückliefern.

Die Umsetzung der hier beschriebenen Operatoren in Funktionen des RAUM-Referenz-Stacks wird im Kapitel „Implementierung des RAUM-Systems“ erläutert.

4.6.1 OPEN

Der Definitionoperator OPEN wird gebraucht, um einen neuen RAUM zu definieren. RÄUME, die mit Hilfe dieses Operators geöffnet werden, werden in die R^d -Liste des definierenden Artefakts eingetragen. Dann wird eine OPEN-Meldung im System verschickt, die es allen anderen Artefakten ermöglicht, den neu geöffneten RAUM in ihre R^c -Listen aufzunehmen.

Der Operator beeinflusst die Inklusionsrelation „ist in RAUM“, und alle Objekte, die in der neu definierten Menge liegen.

4.6.2 CLOSE

CLOSE stellt den Auflösungsoperator des RAUM-Systems dar. Er wird benutzt, um RÄUME zu schließen. Der CLOSE Operator kann nur vom definierenden Objekt auf einen RAUM seiner R^d -Liste angewendet werden. Dieser RAUM wird dann aus der R^d -Liste entfernt und das Artefakt versendet eine CLOSE-Meldung in das RAUM-System. Artefakte, die den betreffenden RAUM in ihrer R^c -Liste führen, löschen diesen.

Da die Architektur des RAUM-Systems nicht ausschließt, daß ein RAUM von mehr als einem Artefakt definiert werden kann, kann die Anwendung des CLOSE Operators, neben der Löschung des gesamten RAUMs, auch zu einer Veränderung seiner Form

führen. In diesem Fall betrifft die Änderung der Inklusionsrelation nicht alle im ursprünglichen RAUM enthaltenen Artefakte.

In der in dieser Arbeit vorgestellten Version des Referenz-Stacks wurde auf die Implementierung der Möglichkeit zur kooperativen Definition von RÄUMen durch mehrere Artefakte verzichtet.

4.6.3 **ACTIVATE**

Die Anwendung des Aktivierungsoperators ACTIVATE entspricht dem Einschalten eines Artefakts. Das Artefakt kann danach an der Kommunikation im RAUM-System teilnehmen. Definierte RÄUME werden wieder aktiviert.

Der ACTIVATE Operator beeinflusst nicht die R^a -Liste eines Artefakts. Er sorgt aber für die Übertragung der in ihr enthaltenen Informationen in das RAUM-System.

4.6.4 **DEACTIVATE**

Der Deaktivierungsoperator DEACTIVATE entspricht dem Ausschalten eines Artefakts. Auch hier wird die R^a -Liste des Artefakts nicht verändert. Es werden lediglich Meldungen zur Deaktivierung der von diesem Artefakt definierten RÄUME in das System gesendet.

Nach der Anwendung des DEACTIVATE Operators ist das Artefakt von der Kommunikation im RAUM-System ausgeschlossen. Soll die Kommunikation wieder aufgenommen werden, ist der ACTIVATE Operator anzuwenden.

4.6.5 **CHANGE**

Mit Hilfe des Änderungsoperators CHANGE kann die Form eines RAUMs abgeändert werden. Diese Änderung betrifft alle aktiven Objekte im RAUM-System.

Bei der Anwendung des CHANGE Operators aktualisiert das Artefakt seine R^a -Liste und sendet Meldungen, die es den anderen Artefakten im System erlauben, ihrerseits ihre R^c -Listen auf den neuesten Stand zu bringen.

4.6.6 **MOVE**

Durch den Bewegungsoperator MOVE kann ein Artefakt dem RAUM-System eine Veränderung seiner Position mitteilen. Da RÄUME relativ zu der Position eines Artefakts definiert werden, beeinflusst jede mit MOVE angezeigte Bewegung die Inklusionsrelation des RAUM-Systems.

Der MOVE Operator wird eingesetzt, wenn sich ein Artefakt bewegt oder im System aktiviert wird. Das Artefakt sendet dann eine Meldung, die seine neue Position enthält. Dies ermöglicht anderen Geräten, ihre R^c -Listen auf dem aktuellen Stand zu halten.

4.6.7 SEND

Der Sendeoperator SEND dient zum Versenden von Meldungen im RAUM-System. Meldungen, die mittels des SEND Operators verschickt wurden, können von Artefakten in Abhängigkeit der RÄUME, in denen sie sich befinden, empfangen werden, da jede Meldung mit der aktuellen Lokation des Senders versehen wird.

Die Auswirkung des SEND Operators hängt damit von der Inklusionsrelation „ist in RAUM“ ab. Die Auswahl der Empfänger geschieht nach den Vorgaben der definierten RÄUME.

4.7 Kommunikation im RAUM-System

Dieser Abschnitt behandelt den Ablauf der Kommunikation im RAUM-System. Hierbei wird die direkte Kommunikation von Artefakten untereinander und die Kommunikation über Infrastrukturobjekte betrachtet. Dazu wird auf den Aufbau des RAUM-Stacks von Artefakten und verschiedene Infrastrukturobjekte des RAUM-System näher eingegangen.

Auf die Darstellung der Funktion des Lokations-Namens-Dienstes (Location Name Service, LNS), zur Verteilung von Lokationsinformationen über Infrastrukturobjekte im RAUM-System, wird in dieser Arbeit verzichtet. Eine ausführliche Beschreibung dieses Systems findet sich in [Beigl, 2001].

4.7.1 Auswahl von Kommunikationspartnern

Die Auswahl von Kommunikationspartnern ist eine der Hauptaufgaben eines Kommunikationssystems [Beigl, 2001]. In den meisten bekannten Kommunikationssystemen erfolgt die Auswahl anhand einer eindeutigen Identifikation jedes Teilnehmers. Ein Beispiel für diese Art der identifikationsbezogenen Adressierung ist die Kommunikation mittels des Internet Protokolls. Jedem Teilnehmer ist eine IP-Adresse zugeordnet, über die er im gesamten Netzwerk eindeutig identifiziert werden kann. In anderen Kommunikationssystemen, wie zum Beispiel Jini, werden Kommunikationspartner anhand der von ihnen zur Verfügung gestellten Dienste adressiert.

Im RAUM-System geschieht diese Auswahl dagegen anhand der Inklusionsrelation „ist in RAUM“ und den Eigenschaften der Kommunikationstypen der definierten RÄUME. Damit erlaubt das RAUM-System die lokationsbasierte Kommunikation zwischen den verschiedenen Teilnehmern, unabhängig von ihrer Identität.

Grundlage für den Aufbau eines RAUM-Systems sind Übertragungsmedien, die Broadcast-Kommunikation unterstützen oder solche, auf denen sich diese simulieren läßt. Meldungen werden per Broadcast in einem Segment des RAUM-Systems verteilt. Die Artefakte, welche diese Meldungen empfangen können, werten die Felder des RAUM-Paketkopfs (RAUM-Header) aus und entscheiden dann, ob die Daten an die Anwendungsschichten weitergereicht werden oder nicht.

Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der Einträge der R_c-Liste eines Artefakts: Liegt die Lokation des Senders innerhalb eines Diskussions-RAUMs in der R_c-Liste, so werden die Daten weiter verarbeitet. Befindet sich die Lokation des Senders in einem Vortragenden-RAUM, wird vor der Weiterleitung zusätzlich überprüft, ob es sich beim Sender der Daten um das definierende Artefakt der RAUMs handelt. Erst dann werden die Nutzdaten zur weiteren Verarbeitung an die höheren Schichten weitergegeben.

Zuhörer-RÄUME müssen nicht von allen Artefakten in ihrer R_c-Liste geführt werden, da außer dem definierenden Artefakt kein Teilnehmer Daten aus diesen RÄUMen empfangen kann. Infrastrukturobjekte wie Router müssen alle definierten RÄUME in ihren R_c-Listen halten, da sie in der Lage sein müssen, Daten auch für diese RÄUME weiterzuleiten.

4.7.2 Direkte Kommunikation zwischen Artefakten

Die einfachste Kommunikationsbeziehung im RAUM-System verbindet zwei Artefakte, die auf das gleiche Übertragungsmedium zugreifen, direkt. Abbildung 4.10 zeigt die direkte Kommunikation von zwei Artefakten über infrarotes Licht (IrDA).

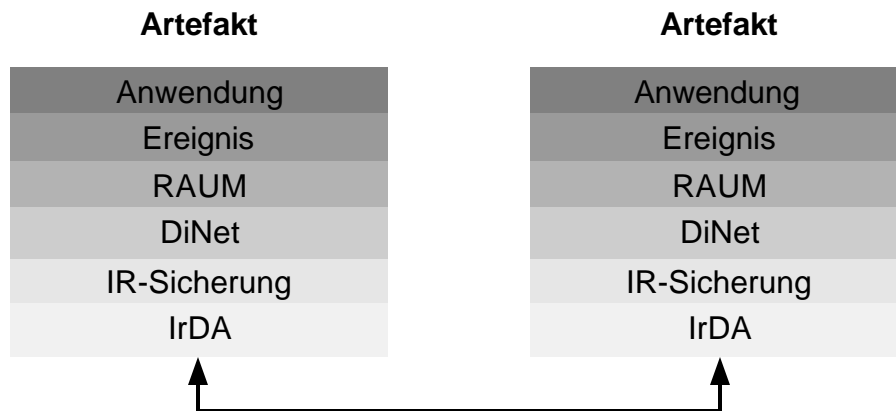


Abbildung 4.10 – Direkte Kommunikation von Artefakten im RAUM-System, am Beispiel einer IrDA Verbindung

Man erkennt in dieser Darstellung den internen Aufbau eines Artefakts. Die Kommunikationsschicht besteht in diesem Beispiel aus der Sicherungs- und Bitübertragungsschicht von IrDA. Darüber befindet sich die Diversivikationsschicht und die RAUM-Schicht; den Abschluß bilden die anwendungsnahen Schichten. Damit verfügt das Artefakt über einen vollständigen RAUM-Stack, einschließlich einer oder mehrerer Anwendungen.

4.7.3 Kommunikation über Infrastruktur

Im RAUM-System können verschiedene Infrastrukturobjekte zur Unterstützung der Kommunikation eingesetzt werden. Die Benennung dieser Infrastrukturobjekte folgt der in der Telematik allgemein gebräuchlichen Nomenklatur [Beigl, 2001] [Krüger, 1999] [Tanenbaum, 1996].

Das RAUM-System integriert verschiedene Kommunikationsmedien. Dadurch ist es notwendig, Übergänge zwischen diesen Medien zu schaffen oder die technische Reichweite bestimmter Medien zu erhöhen. Dies sind Aufgaben, die im RAUM-System von Infrastrukturobjekten übernommen werden. Routing, LNS und die technische Sicherung von Netzwerksegmenten sind weitere Dienste, die von der Infrastruktur des RAUM-Systems erbracht werden.

In diesem Abschnitt wird der Aufbau und die Funktionsweise von RAUM-Repeatern, -Bridges und -Routern beschrieben, da diese Geräte bei der Implementierung des Referenz-Stacks berücksichtigt wurden und in dem zur Evaluierung verwendeten RAUM-System eingesetzt werden.

RAUM-Repeater dienen zur Erweiterung der technischen Reichweite eines Übertragungsmediums. Die Repeater regenerieren lediglich das empfangene Signal. Ihre Funktion beschränkt sich auf die Schicht 1 des ISO/OSI Modells. Durch den Einsatz von Repeatern können Netzwerksegmente des gleichen Typs verbunden werden (Abbildung 4.11). Bezüglich der verwendeten Repeater stellt das RAUM-System keine besonderen Anforderungen.

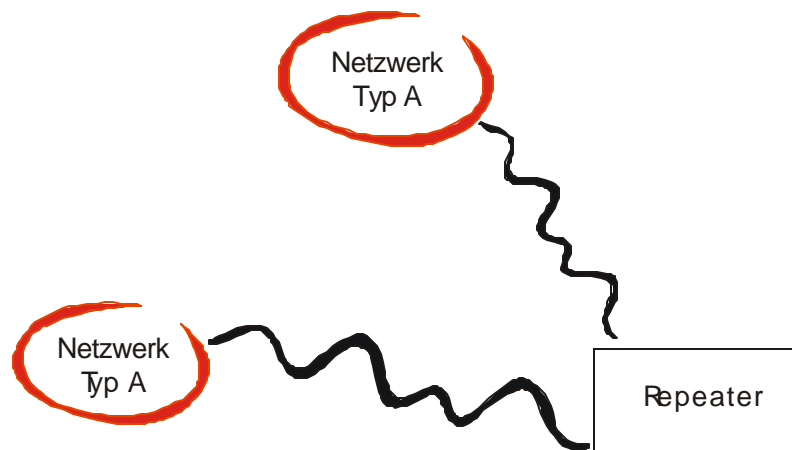


Abbildung 4.11 – Repeater verbindet Netzwerksegmente des gleichen Typs

Die Kommunikation von zwei Artefakten über einen Repeater ist in Abbildung 4.12 dargestellt. Der Repeater arbeitet in diesem Beispiel als Signalverstärker, um zwei Ethernet-Segmente miteinander zu verbinden. Die hier dargestellten Artefakte ver-

wenden zur Kommunikation auf der Sicherungsschicht UDP (User Datagram Protocol).

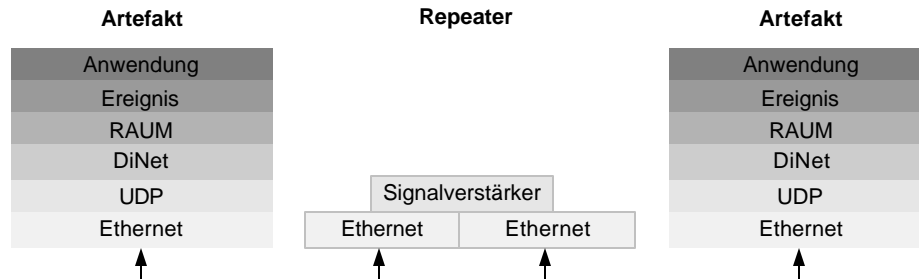


Abbildung 4.12 – Kommunikation über einen Repeater, am Beispiel einer Ethernetverbindung

Es ist zu erkennen, daß der Repeater lediglich die Bitübertragungsschicht implementiert und so die physikalische Signale auf ein weiteres Netzwerksegment des gleichen Typs ausdehnen kann.

RAUM-Bridges arbeiten auf Schicht 2 des ISO/OSI Modells. Sie sind im RAUM-System für den Übergang zwischen verschiedenen Übertragungsmedien verantwortlich (Abbildung 4.13). Auch sie verarbeiten nicht die RAUM-Daten, sondern ersetzen nur die Sicherungsprotokolle für die verschiedenen Medien. Bridges werden genutzt, um zwei Netzwerksegmente verschiedenen Typs zu verbinden.

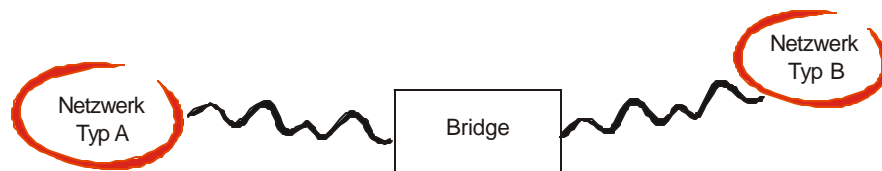


Abbildung 4.13 – Bridges verbinden Netzwerksegmente verschiedenen Typs

Abbildung 4.14 zeigt ein Beispiel, in dem ein auf IrDA basiertes Artefakt über eine Bridge mit einem ethernetbasierten Artefakt kommuniziert. Es ist zu erkennen, daß die RAUM-Bridge die Kommunikationsschicht des RAUM-Systems implementiert.

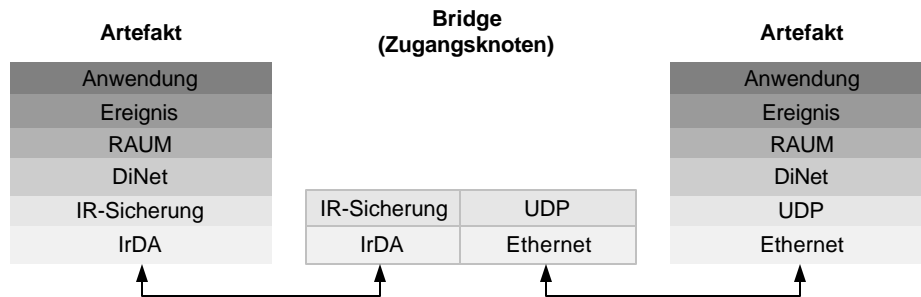


Abbildung 4.14 – Artefakte kommunizieren über eine Bridge

Bezogen auf das ISO/OSI Basisreferenzmodell besteht der Protokoll-Stack der Bridge aus je zwei Instanzen, der Bitübertragungs- und der Sicherungsschicht. Diese Bridge konvertiert das IR-Sicherungsprotokoll in UDP und umgekehrt.

Wie in Abbildung 4.14 angedeutet, werden Bridges im RAUM-System unter anderem als Zugangsknoten für mobile Artefakte genutzt. Diese können so auf den kabelgebundenen Teil des Netzwerks zugreifen.

RAUM-Router vermitteln RAUM-Pakete zwischen mehreren verschiedenen Segmenten des RAUM-Netzwerks. Sie arbeiten auf Schicht 3 des ISO/OSI Basisreferenzmodells und können, wie in Abbildung 4.15 angedeutet, neben der Vermittlung von RAUM-Paketen auch die Aufgaben von Bridges und Repeatern übernehmen.

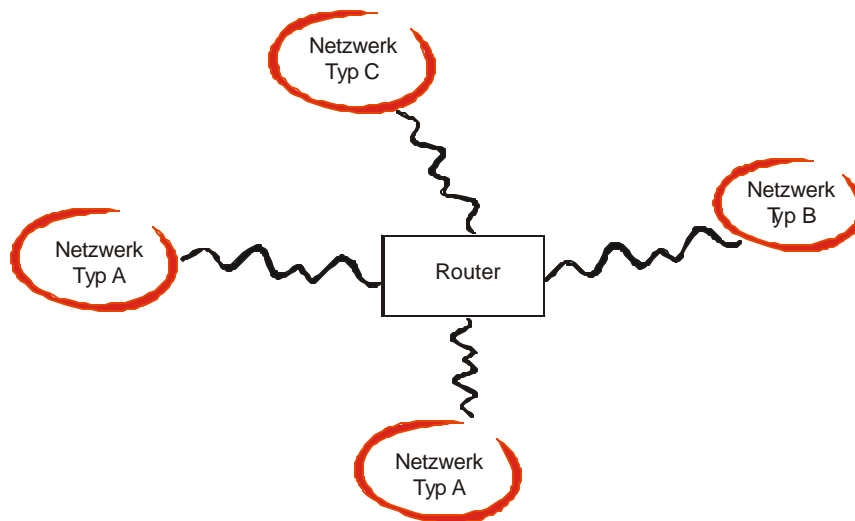


Abbildung 4.15 – Router vermitteln Datenpakete unabhängig vom Netzwerktyp

RAUM-Router implementieren für jeden ihrer physikalischen Netzwerkanschlüsse eine Instanz der Kommunikationsschicht. Darüber befinden sich die Diversifikations-schicht und im Fall eines RAUM-Routers eine Instanz der RAUM-Schicht. Abbildung 4.16 zeigt die Kommunikation im RAUM-System unter Einsatz eines Routers. Verschiedene Artefakte, die entweder direkt oder über andere Infrastrukturobjekte, mit dem Router verbunden sind, kommunizieren miteinander. Der Router vermittelt die Datenpakete zwischen den angeschlossenen Netzwerksegmenten.

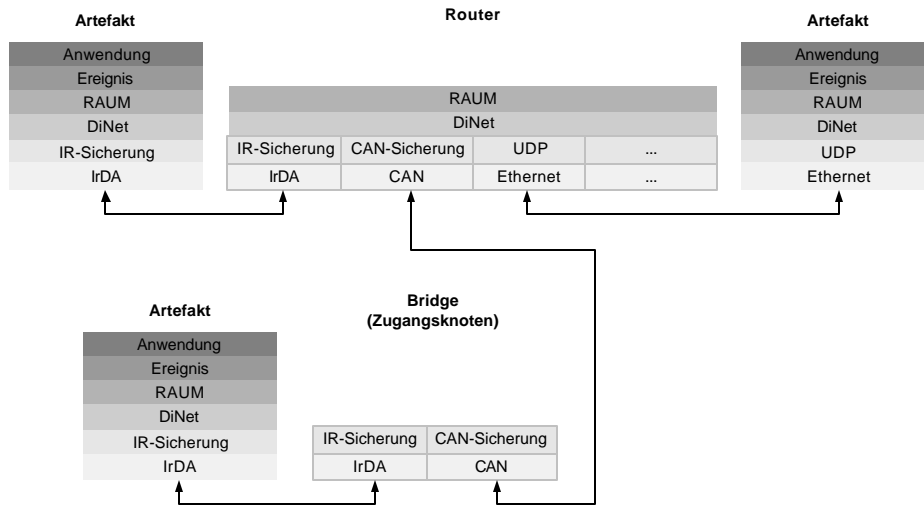


Abbildung 4.16 – Kommunikation im RAUM-System unter Einsatz eines Routers zur Vermittlung der Datenpakete

Die Funktion eines RAUM-Routers wird in folgenden Abschnitt ausführlich beschrieben. Dabei wird insbesondere auf das, in dieser Arbeit für das RAUM-System entwickelte Routingverfahren eingegangen.

4.8 RAUM-Routing

Router werden im RAUM-System zur Vermittlung von Datenpaketen zwischen verschiedenen Segmenten des Netzwerks eingesetzt. In dieser Arbeit wurde ein Vermittlungsverfahren für das RAUM-System entwickelt und implementiert.

Beim Entwurf des hier vorgestellten Routingverfahrens für das RAUM-System, stand nicht die Effizienz des Verfahrens im Vordergrund. Vielmehr wurde darauf geachtet ein Routingverfahren zu wählen, welches sich mit möglichst geringfügigen Veränderungen des Referenz-Stacks für Artefakte realisieren läßt und dennoch eine zuverlässige Vermittlung der RAUM-Daten gewährleistet.

Der Grund für diese Entscheidung liegt in dem bereits erheblichen Entwicklungsaufwand, der zur Implementierung des RAUM-Referenz-Stacks nötig war. Wäre auf die Wiederverwendung dieser Entwicklungsarbeit zu Gunsten eines effizienteren Routingverfahrens verzichtet worden, hätte im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr die Möglichkeit bestanden, das Gesamtsystem inklusive Routern im realen Einsatz zu testen.

4.8.1 Lokation und Interessensbereich eines Routers

Grundlage für die Entwicklung des hier vorgestellten Routingverfahrens für das RAUM-System war die Analyse verschiedener Kommunikationssituationen. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst viele der im System enthaltenen Informationen für die Vermittlung von Datenpaketen zu nutzen.

Ein Router verfügt über mehrere physikalische Netzwerkanschlüsse. Über jeden dieser Anschlüsse ist ein Netzwerksegment des RAUM-Systems zu erreichen, wobei verschiedene Segmente auch die gleichen Teile des Lokationsbaums des Systems, mit verschiedenen Übertragungsmedien, abdecken können. Somit ist es im Allgemeinen nicht möglich, einen physikalischen Netzanschluß eindeutig einem Teil des Lokationsbaums zuzuordnen.

Wichtige Punkte bei der Entwicklung des Routingverfahrens waren die Frage, wo sich Artefakte und Router, bezogen auf die Darstellung im Lokationsbaum, im RAUM-System befinden und welche Teile des Baums von den von ihnen definierten RÄUMen abgedeckt werden können.

Die Lokation von Geräten im RAUM-System ist, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, immer mit einem Blatt des Lokationsbaums assoziiert. Zur Vereinfachung des Routings wurde davon ausgegangen, daß ein Router im RAUM-System seinen Vermittlungsdienst immer mindestens einem oder mehreren ganzen Blättern zur Verfügung stellt.

Die Ausdehnung von RÄUMen innerhalb derer Datenpakete geroutet werden müssen ist ebenso von Interesse für die Entwicklung eines Routingverfahrens. Geräte im RAUM-System können, wie in Abschnitt 4.4 beschrieben, kubische, zylindrische oder semantische RÄUMe definieren. Dabei können kubische und zylindrische RÄUMe nicht über die Grenzen von Blättern im Lokationsbaum angelegt werden. Lediglich semantische RÄUMe können mehrere Blätter des Lokationsbaums zusammenfassen, die dann vollständig zum definierten RAUM gehören.

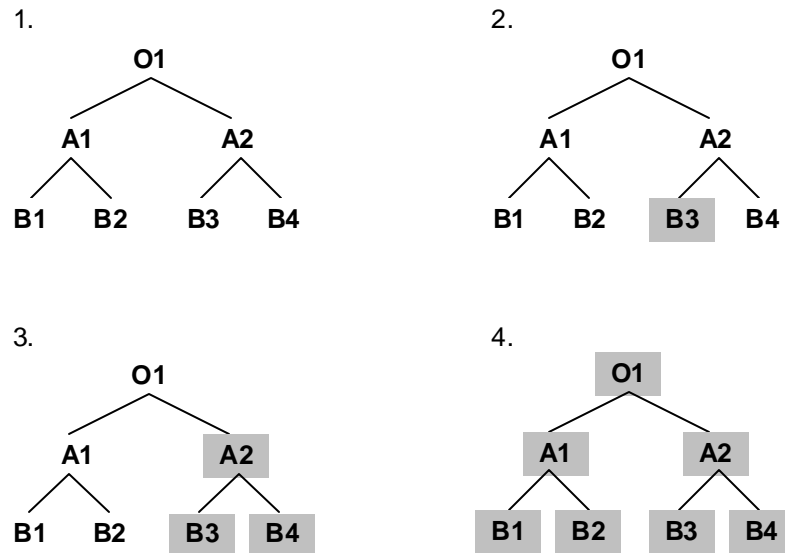


Abbildung 4.17 – Verschiedene von RÄUMen überdeckte Bereiche eines Lokationsbaums

Abbildung 4.17 zeigt die schematische Darstellung eines Lokationsbaums, in dem vier möglichen Fälle von Überdeckungen, von Knoten des Baums mit RÄUMen markiert wurden (1.-4.).

In diesem Beispiel wurde angenommen, daß sich ein Artefakt innerhalb des Blatts B3 befindet und ausgehend von seiner Lokation RÄUMe definiert. Im ersten Fall wird kein Blatt vollständig überdeckt, hier wurde also ein kubischer oder zylindrischer RAUM definiert. Fall 2 zeigt die Überdeckung durch einen semantischen RAUM der Ebene 0. Die Fälle 3 und 4 illustrieren die von semantischen RÄUMen der Ebene 1 beziehungsweise der Ebene 2 überdeckten Bereiche des Lokationsbaums.

Es ist zu erkennen, daß das Artefakt in Knoten B3 keinen RAUM definieren kann, der zum Beispiel nur den Knoten B1, aber nicht B2 umfaßt. Diese Tatsache wurde bei der Entwicklung des RAUM-Routingverfahrens ausgenutzt. Da RÄUMe dieser Art nicht definiert werden können, ist es auch nicht nötig, Daten nach einem derartigen Muster zu vermitteln. Somit kann für die Implementierung eines Routingverfahrens auf die, vom RAUM-System vorgegebene Struktur der semantischen RÄUMen zurückgegriffen werden. Diese werden genutzt, um den Interessensbereich eines Routers zu definieren.

4.8.2 Routing-RÄUMe

Zur Realisierung des Routings im RAUM-System wurde ein neuer RAUM-Typ eingeführt, der Routing-RAUM. Dabei handelt es sich um einen semantischen Zuhörer-RAUM mit zusätzlichen Funktionen.

70 | Architektur des RAUM-Systems

Abbildung 4.18 zeigt ein RAUM-System, in dem ein Router arbeitet. Die linke Seite der Abbildung enthält eine schematische Darstellung des RAUM-Systems, auf der rechten Seite befindet sich der korrespondierende Lokationsbaum. Die über physikalische Anschlüsse des Routers erreichbaren Blätter sind im Lokationsbaum markiert.

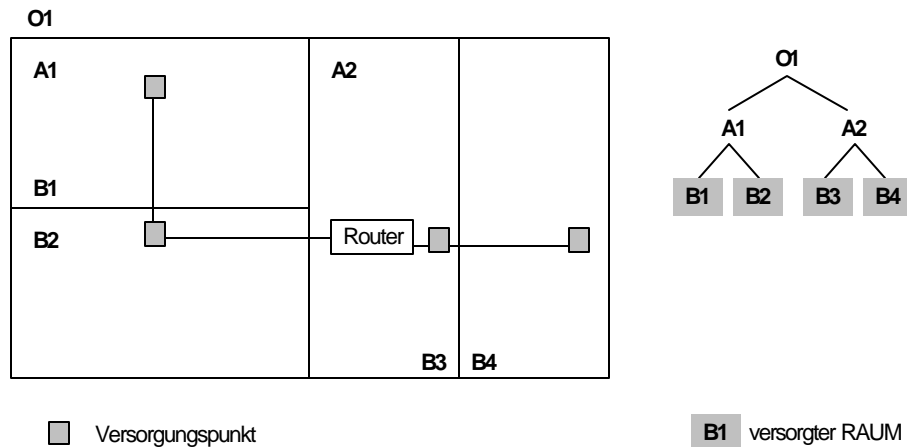


Abbildung 4.18 – Beispiel: Versorgung verschiedener RÄUME über einen Router

Die Lokation des Routers ist somit eine Position innerhalb des mit B3 bezeichneten Blatts des Lokationsbaums. Die Blätter B1 und B2 sind über einen physikalischen Anschluß mit dem Router verbunden, B3 und B4 sind über einen zweiten Anschluß erreichbar.

Soll der Router Daten zwischen dem Segment (B1, B2) und dem Segment (B3, B4) vermitteln, muß sein Interessensbereich diese Blätter umfassen. Dies bedeutet, ein semantischer RAUM der Ebene 2 stellt den kleinsten RAUM dar, der diesen Interessensbereich enthält.

Der Kommunikationstyp des Routing-RAUMs ist vom Zuhörer-RAUM abgeleitet. Der Routing-RAUM unterscheidet sich durch die Verarbeitung empfangener Daten und seinen Eintrag in die R^d-Liste des Routers vom Zuhörer-RAUM. Der Eintrag eines Routing-RAUMs in der R^d-Liste eines Routers enthält ein zusätzliches Feld, in dem mit diesem RAUM assoziierte, physikalische Anschlüsse des Routers vermerkt werden könne.

Öffnet ein Router einen Routing-RAUM, wird die vom OPEN Operator erzeugte Meldung wiederum nur von Routern ausgewertet. Diese tragen den neu definierten Routing-RAUM in ihre R^c-Listen ein. Auf diese Weise verfügt jeder Router im RAUM-System über eine Liste, der er entnehmen kann, welcher Router in welchen Teilen des Lokationsbaums für die Vermittlung von Datenpaketen verantwortlich ist.

Da ein Router im Allgemeinen nicht über die anwendungsnahen Schichten des RAUM-Stacks verfügt, werden Daten, die aus dem Routing-RAUM empfangen werden, nicht, wie beim Zuhörer-RAUM, an höhere Schichten weitergegeben, sondern auf den angegebenen physikalischen Anschlüssen weitergeleitet. Durch diese Art der Vermittlung der Pakete stehen die Daten im gesamten vom Router definierten Routing-RAUM zur Verfügung.

4.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Architektur des RAUM-Systems vorgestellt und die im Verlauf dieser Arbeit entwickelten Erweiterungen eingeführt. Die Architektur beinhaltet das im RAUM-System eingesetzte Lokationssystem und die zur Kommunikation nötigen Dienste und Protokolle. Die Beschreibung der RAUM-Architektur umfaßt die Organisation des RAUM-Stacks und die Eigenschaften und Funktionen der im System definierten RÄUME. Der Ablauf der Kommunikation und der innere Aufbau der zur Architektur gehörenden Artefakte und Infrastrukturobjekte wurde erläutert. Abschließend wurde das neu entwickelte Routingverfahren für das RAUM-System vorgestellt.

Die Kommunikation im RAUM-System ist lokationsbasiert. Das eingesetzte Lokationssystem benutzt eine Baumstruktur zur effizienten Darstellung von Lokationsinformationen [Beigl, 2001].

Die Architektur des RAUM-Systems beschreibt ein in Schichten organisiertes Kommunikationssystem. Die Funktion der einzelnen Schichten wurde zur Funktion der Schichten im ISO/OSI Basisreferenzmodell in Beziehung gesetzt. Die Kommunikationsschicht des RAUM-Systems (ISO/OSI Schicht 1-2) beinhaltet die Funktionen der Sicherungs- und Bitübertragungsschichten für die im RAUM-System eingesetzten Übertragungsmedien. Die in dieser Arbeit eingeführte Diversifikationsschicht ermöglicht die Integration verschiedener Vermittlungsinstanzen in das Kommunikationssystem. Die Funktionalität dieser Schicht läßt sich der Vermittlungsschicht des ISO/OSI Modells zuordnen. Da sie für die Auswahl der eigentlichen Vermittlungsinstanz verantwortlich ist, wurde sie in dieser Arbeit, in Bezug auf das ISO/OSI Basisreferenzmodell, als Schicht 3.1 eingeführt. In der RAUM-Schicht (ISO/OSI Schicht 3.2) liegt der Hauptteil der Funktionalität des RAUM-Systems. Die darüber liegenden, anwendungsnahen Schichten waren nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Das RAUM-System benutzt RÄUME, um Interessensbereiche von Artefakten von der realen Welt in den virtuellen Kommunikationsraum abzubilden. RÄUME können mit verschiedenen Formen und Kommunikationstypen definiert werden. Das RAUM-System unterstützt kubische, zylindrische und semantische RÄUME. Bei der Festlegung des Kommunikationstyps kann zwischen einem Zuhörer-RAUM, einem Vortragenden-RAUM und einem Diskussion-RAUM gewählt werden. Der Routing-RAUM stellt einen in dieser Arbeit neu definierten RAUM-Typ dar, der zur Vermittlung von Datenpaketen dient.

Es wurde der Ablauf der Kommunikation im RAUM-System und der innere Aufbau der daran beteiligten Objekte beschrieben. Die Aufgaben der Infrastruktur wurde an

72 | Architektur des RAUM-Systems

Kommunikationsbeispielen erläutert. Die Funktion von RAUM-Routern und das in dieser Arbeit entwickelte Routingverfahren wurden eingeführt.

Das folgende Kapitel befaßt sich mit der konkreten Umsetzung der RAUM-Architektur. Es erläutert getroffene Designentscheidungen und beinhaltet Beschreibungen der verwendeten Hardware und verschiedener im RAUM-System implementierter Verfahren.

5 Implementierung des RAUM-Systems

Im letzten Kapitel wurde die Architektur des RAUM-Systems ausführlich beschrieben. Das fünfte Kapitel behandelt nun die Implementierung eines RAUM-Referenzsystems.

Zu Anfang dieser Betrachtungen wird auf die generellen Designentscheidungen bei der Umsetzung des RAUM-Systems eingegangen. Daran anschließend werden verschiedene Techniken vorgestellt, die zur Umsetzung des RAUM-Systems eingesetzt wurden. Darunter sind verschiedene Kodierungsverfahren zur effizienten Speicherung und Verwaltung der administrativen Daten, die Umsetzung des Lokationssystems und der RAUM-Listen.

Das Kapitel schließt mit der Beschreibung des Aufbaus von Datenpaketen im RAUM-System und der Einführung der Funktionen der hier entwickelten RAUM-API.

5.1 Designentscheidungen

Die Implementierung eines Kommunikationssystems für Ubiquitous Computing Umgebungen stellt eine besondere Herausforderung dar. Das System muß auf Geräten mit eingeschränkter Rechenleistung und Speicherkapazität arbeiten und darf dabei die Leistungsfähigkeit der Kommunikation nicht außer acht lassen.

Dieser Abschnitt befaßt sich mit den Designentscheidungen bezüglich der Softwareentwicklung und der Wahl der eingesetzten Hardware, soweit diese die Entwicklung des hier implementierten Referenz-System beeinflussen.

5.1.1 RAUM-Referenz-System

Im Verlauf dieser Arbeit wurde ein RAUM-System implementiert und getestet. Zu Beginn der Implementierung fiel die Entscheidung, nicht einen für bestimmte Hardware optimierten, sondern einen allgemeinen Referenz-Stack für das RAUM-System zu entwickeln. Diese Entscheidung beeinflußt das Design der Implementierung, da bei der Entwicklung der Software weitgehend auf die Nutzung gerätespezifischer Funktionen verzichtet wurde.

So wurden im Referenz-System zum Beispiel nicht mehrere Kontrollfäden (Threads) implementiert, obwohl die Entwicklungsplattform diese Technik unterstützt hätte. Es wurde vielmehr eine Umsetzung gewählt, die auch mit Geräten wie Palm-OS PDAs, die nur einen Thread unterstützen, kompatibel ist.

Das Referenz-System wurde in der Sprache C implementiert. Diese Programmiersprache wurde gewählt, da für eine Vielzahl von Rechnerplattformen C-Übersetzer (Compiler) zur Verfügung stehen. Auf diese Weise sollte die schnelle Portierung des Systems auf andere Geräte erleichtert werden, da große Teile des Quelltextes unverändert übernommen werden können.

74 | Implementierung des RAUM-Systems

Bei der Implementierung des RAUM-Referenz-Systems wurde besonders auf eine modulare Realisierung des Hardwarezugriffs geachtet, um geräteabhängige Funktionen schnell austauschen zu können.

Der völlige Verzicht auf plattformabhängige Funktionen war nicht realisierbar, da in Ubicomp Umgebungen größtenteils eingebettete Rechnersysteme (Embedded Systems) zum Einsatz kommen, die über unterschiedliche, bereits integrierte Kommunikationshardware verfügen. Diese Hardwarekomponenten müssen immer gerätespezifisch programmiert werden.

5.1.2 Hard- und Software

Eine der wichtigsten Designentscheidungen bei der Implementierung des RAUM-Referenz-Systems war die Auswahl der Hardwareplattform als Grundlage der Realisierung. Diese Plattform sollte verschiedenen Ansprüchen gerecht werden: Es sollte möglich sein, auf dieser Plattform sowohl Infrastrukturobjekte, als auch Artefakte zur Evaluierung zu implementieren und das eingesetzte Gerät sollte in Größe, Mobilität und Verfügbarkeit den Ansprüchen von Ubiquitous Computing Systemen genügen.

Bei der Auswahl der Hardwareplattform war die Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wichtig, da auf diese Weise schnell ein System mit verschiedenen Komponenten entwickelt werden konnte. Die Verfügbarkeit verschiedener Komponenten und deren Tauglichkeit für den Einsatz in Ubicomp Umgebungen war Grundlage für die in dieser Arbeit vorgenommenen Praxistests.

Auf Basis dieser Vorgaben fiel die Entscheidung auf den IPC@Chip SC12 der Firma Beck [Beck, 2001]. Bei diesem Gerät (Abbildung 5.1) handelt es sich um einen Ein-Chip Embedded-PC auf Basis eines mit 20MHz getakteten 186-Prozessors. Der Speicher des SC12 besteht aus 256 KB Flash-ROM, 512 KB RAM und einer Flash-Disk mit einer Kapazität von 256 KB. Das Gerät verfügt über zwei serielle Schnittstellen, einen 10 Mbit Ethernet-Controller, einen I²C-Bus und vierzehn frei programmierbaren E/A-Leitungen.



Abbildung 5.1 – Embedded-PC IPC@Chip der Firma Beck

Der Beck IPC@Chip SC12 wurde auf dem ebenfalls von der Firma Beck hergestellten Evaluation-Modul DK40 betrieben. Dieses besteht aus einem robusten Gehäuse und kann, wie Abbildung 5.2 zeigt, einen IPC@Chip aufnehmen. Das DK40 stellt dem Benutzer verschiedene Standard-Schnittstellen zur Verfügung. Unter anderem enthält das Modul einen 10BaseT Ethernetanschluß und zwei serielle Schnittstellen mit TTL Pegel.



Abbildung 5.2 – Evaluation-Modul DK40 der Firma Beck mit IPC@Chip SC12

Der IPC@Chip im Evaluationsmodul DK40 wurde aus verschiedenen Gründen zur Realisierung des RAUM-Referenz-Systems gewählt: Das Hauptargument für den IPC@Chip war, daß dieser, ausgehend von seinen Leistungsdaten, die Implementierung sowohl von RAUM-Artefakten als auch von Infrastrukturobjekten ermöglicht. Das DK40 Modul verfügt über Stromanschlüsse, über die der IPC@Chip auf einfache Weise mit einer stationären Stromquelle oder einer Batterie verbunden werden kann. Dabei reicht die Leistung einer von Video-Camcordern bekannten Batterie, um das Evaluation-Modul etwa einen Tag zu versorgen. Dies ermöglicht den mobilen wie stationären Einsatz der Module.

Ein weiterer Vorteil der DK40-Lösung liegt darin, daß dieses Modul als „out-of-the-box“ Lösung zur Verfügung steht und somit die Entwicklung von zusätzlicher Hardware zur Evaluation des RAUM-Referenzsystems unnötig gemacht hat.

Das Betriebssystem des IPC@Chip bildet ein Multitasking-DOS, welches über integrierte FTP-, Telnet- und WWW-Server verfügt. Anwenderprogramme für den IPC@Chip werden als 16 bit DOS-Applikationen übersetzt. Dies ermöglicht die Entwicklung von Software mit Standardwerkzeugen.

Zur Entwicklung und Übersetzung der RAUM-Software kam die Entwicklungsumgebung Borland C++ 5.02 zum Einsatz.

Wie bereits angesprochen, wurde bei der Implementierung des RAUM-Systems auf die Ausnutzung von hardware-spezifischen Möglichkeiten verzichtet. Bei der Entwicklung der Software für den Beck IPC@Chip hatte dies zum Beispiel zur Folge, daß die Fä-

higkeit des Geräts, mehrere Threads zu unterstützen, ungenutzt blieb. Dies soll die einfache Portierung des RAUM-Referenz-Systems auf Geräten ermöglichen, die, wie Palm-OS PDAs, keine mehrfädige (mult-threaded) Programmverarbeitung unterstützen.

5.2 Lokationssystem

Das RAUM-System nutzt zur lokationsbasierten Kommunikation das in Kapitel 4 beschriebene Lokationssystem. Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit den im RAUM-System implementierten Verfahren, die eine effiziente Speicherung und Verarbeitung der Lokationsinformationen ermöglichen.

Es werden verschiedene Kodierungsverfahren zur komprimierten Speicherung und Übertragung der Lokationsinformation vorgestellt. Außerdem wird ein „Location Stufing“ genanntes Verfahren beschrieben, welches Artefakten mit minimaler Hardwareausstattung die Teilnahme an der lokationsbasierten Kommunikation erlaubt.

Das RAUM-System verwendet zur komprimierten Darstellung von Lokationsinformationen zwei Kodierungen: die „3 zu 2 Kodierung“, die zur Kompression der textuellen Lokationsbeschreibung dient und die „ab-Kodierung“ zur Angabe von Koordinaten, Längen und Zeiten.

5.2.1 3 zu 2 Kodierung

Die 3 zu 2 Kodierung benutzt ein reduziertes Alphabet zur Kodierung von drei Zeichen in zwei Bytes. Das der Kodierung zugrunde liegende Alphabet besteht aus 40 verschiedenen Zeichen. Es enthält nur Großbuchstaben, Ziffern und die Sonderzeichen „:“, „;“, „@“ und das Leerzeichen, das im folgenden durch den Unterstrich „_“ dargestellt wird. Jedes dieser Zeichen wird durch eine Zahl zwischen 0 und 39 kodiert. Tabelle 5.1 zeigt die Zuordnung dieser Codes zu den entsprechenden Zeichen.

Zeichen	Kode	Zeichen	Kode	Zeichen	Kode	Zeichen	Kode
:	0	7	10	H	20	R	30
;	1	8	11	I	21	S	31
@	2	9	12	J	22	T	32
0	3	A	13	K	23	U	33
1	4	B	14	L	24	V	34
2	5	C	15	M	25	W	35
3	6	D	16	N	26	X	36
4	7	E	17	O	27	Y	37
5	8	F	18	P	28	Z	38
6	9	G	19	Q	29	_	39

Tabelle 5.1- Kodetabelle der 3 zu 2 Kodierung

Die Berechnung des Codes für je drei Zeichen geschieht nach Formel 5.1. Der dabei entstehende Code wird als 16 bit-Zahl interpretiert und in zwei Bytes abgelegt.

$$code = zeichen1 + (zeichen2 * 40) + (zeichen3 * 1600)$$

Formel 5.1 – Berechnung des 3 zu 2 Kodes

Dieses Verfahren ist geeignet, Zeichenfolgen in Blöcken von je drei Zeichen zu kodieren. Entspricht die Anzahl der Zeichen in einer zu kodierenden Zeichenfolge nicht einem Vielfachen von drei, wird die Zeichenfolge mit Leerzeichen aufgefüllt.

5.2.2 ab-Kodierung

Die ab-Kodierung dient im RAUM-System zur Darstellung von Koordinaten, Längen und Zeiten. Sie ermöglicht die Speicherung großer Wertebereiche in nur einem Datenbyte. Diese Kodierung nutzt die Tatsache, daß Positionen, Längen und Zeiten in einem System wie dem RAUM-System nicht beliebig genau gemessen werden müssen.

Es ist sinnvoll, die Position eines Artefakts auf einem Schreibtisch auf den Zentimeter genau angeben zu können. Eine derart genaue Angabe macht aber zum Beispiel, bezogen auf die Fläche eines Fußballfeldes, wenig Sinn. Hier reichen im Allgemeinen ungenauere Positionsangaben zur Unterstützung von Anwendungen aus.

Ähnliches gilt für die Angabe von Zeiten, die im RAUM-System zur Festlegung der Gültigkeitsdauer eines definierten RAUMs verwendet werden. Diese Gültigkeitsdauer wird in Anlehnung an die Namensgebung in anderen Kommunikationsprotokollen [Krüger, 1999] als Time To Live (TTL) bezeichnet. Sollen RÄUME nur für kurze Zeitspannen die Kommunikation ermöglichen, ist die Angabe der TTL in Sekunden wünschenswert. Besteht der RAUM zur Kommunikation allerdings mehrere Stunden oder gar Tage, sind sekundengenaue Angaben im Allgemeinen wenig hilfreich.

Die ab-Kodierung unterstützt die Angabe eines Wertebereichs und des korrespondierenden Werts in einem Byte. Dabei wird der zugrunde liegende Wertebereich in den ersten zwei Bit eines ab-Bytes kodiert. Die restlichen 6 Bit nehmen den entsprechenden Wert auf. Ein ab-kodiertes Byte hat damit die Form:

abxx xxxx.

Wobei ab für den Code des Wertebereichs und xx xxxx für die Bits des Werts selbst steht.

Die Kodierungen des Wertebereichs für die Angabe von Längen und Positionen unterscheidet sich von der Kodierungen des Wertebereichs zur Angabe von Zeiten. Beide Kodierungen sind in Tabelle 5.2 zusammengefaßt. Die Maßeinheit der Längenangaben ist Zentimeter, die Zeit wird in Sekunden angegeben. Die

78 | Implementierung des RAUM-Systems

Tabelle 5.2 enthält die Multiplikatoren, die auf einen 6 Bit ab-Wert angewendet werden.

Längenangaben		Zeitangaben	
ab	Wertebereich	ab	Wertebereich
00	* 1cm	00	* 1s
01	* 10cm	01	* 1min = 60s
10	* 100cm	10	* 1h = 3600s
11	* 1000cm	11	* 1d = 86400s

Tabelle 5.2 – Kodierung der Wertebereiche in ab-kodierten Bytes

Durch diese Kodierung können in einem ab-kodierten Byte Längenangaben zwischen 0cm und 630m gespeichert werden. Zeitangaben können zwischen 1s und 62 Tagen liegen.

Da die Zeitkodierung in ab-Bytes im RAUM-System nur zur Übermittlung der TTL von RÄUMen genutzt wird, wurden die Werte 0 und 255 für ab-Bytes mit besonderen Funktionen verknüpft. Ein TTL-Wert von 0 zeigt an, daß der betreffende RAUM unbegrenzt gültig bleibt. Der Wert 255 wird benutzt, um einen RAUM zu schließen. Anstatt einer separaten CLOSE-Meldung wird eine OPEN-Meldung mit einem TTL-Byte mit dem Wert 255 verschickt.

5.2.3 Repräsentation der Lokationsinformation

Die vom RAUM Referenz-System verarbeiteten Lokationsinformationen werden in einer Datenstruktur vom Typ `location` gespeichert. Dieser Abschnitt beschreibt den Aufbau dieser Datenstruktur.

Die Datenstruktur `location` setzt sich aus vier Teilen zusammen: Der Root-ID, dem Lokationsbaum, der Position und einem Byte, welches zur Angabe der Unschärfe einer Lokation benutzt werden kann.

Die Root-ID umfaßt 4 Byte, für die Speicherung des Lokationsbaums stehen 24 Byte zur Verfügung, und die Position besteht aus je einem Byte für die Koordinate jeder Raumrichtung. Hinzu kommt das Byte zur Abgabe von unscharfen Lokationen. Abbildung 5.3 zeigt den schematischen Aufbau der Datenstruktur.

Root-ID	Locationtree	Position	Deviation
4 Bytes	24 Byte	3 Byte	1 Byte

Abbildung 5.3 – Aufbau der Datenstruktur vom Typ location

Der Lokationsbaum wird in dieser Datenstruktur in der vorgestellten 3 zu 2 Kodierung gespeichert. Die Position wird ab-kodiert. Dies soll an dem bereits in Abschnitt 4.2.3 vorgestellten Beispiel illustriert werden. Abbildung 5.4 zeigt einen Lokationsbaum, in dem eine Lokation hervorgehoben dargestellt ist.

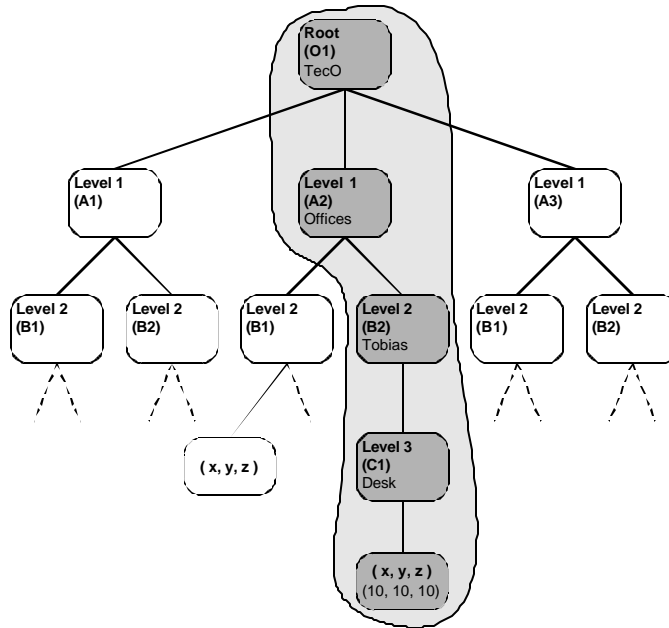


Abbildung 5.4 – Beispiel einer Lokation in einem Lokationsbaum

Die in der Abbildung markierte Lokation wird im RAUM-System, wie bereits erwähnt, durch die textuelle Beschreibung

TecO,Offices,Tobias,Desk,(10,10,10)

repräsentiert. Das RAUM-System sieht für die Vergabe der Namen von Knoten für jede der vier Ebenen des Lokationsbaums 9 Zeichen vor. Besteht einer der Namen aus weniger als 9 Zeichen, wird er mit Leerzeichen aufgefüllt. Enthält der Name eines Knotens mehr als 9 Zeichen, werden nur die ersten 9 berücksichtigt. In diesem Beispiel werden also die folgenden Zeichenfolgen 3 zu 2 kodiert:

```
T E C O _ _ _ _ _
O F F I C E S _ _
T O B I A S _ _ _
D E S K _ _ _ _ _
```

80 | Implementierung des RAUM-Systems

Jede dieser Zeichenfolgen kann nach der 3 zu 2 Kodierung in 6 Bytes gespeichert werden. Dies ergibt die 24 Bytes der `location`-Datenstruktur, in denen der Lokationsbaum hinterlegt ist.

Die Koordinaten der Position werden ab-kodiert. In diesem Beispiel wird eine Position auf einem Schreibtisch beschrieben, also ist davon auszugehen, daß die Koordinaten, relativ zum lokalen Nullpunkt des Tisches, in Zentimetern angegeben sind.

Abhängig davon, wie genau die Position des Artefakts bestimmt werden kann, können diese Koordinaten entweder mit dem Multiplikator 1cm oder 10cm kodiert werden. Im ersten Fall lautet das resultierende Byte:

a	b	x	x	x	x	x	x
0	0	0	0	1	0	1	0

Im zweiten Fall ergibt sich das Byte:

a	b	x	x	x	x	x	x
0	1	0	0	0	0	0	1

In beiden Fällen wird dieselbe Position dargestellt, allerdings mit einer unterschiedlichen Granularität der Auflösung. Unabhängig von der Kodierung der Position bildet das sogenannte Deviation-Byte das letzte Byte der `location`-Datenstruktur. Der Benutzer kann mit Hilfe dieses Bytes angeben, ob es sich bei der Positionsangabe um eine exakte Angabe handelt oder nicht.

Die vorliegende Implementierung unterstützt die Verwendung des Deviation-Bytes nicht. Vorstellbar ist die Nutzung dieses Bytes, in späteren Versionen des RAUM-Protokolls, zur Übermittlung der Methode, mit der die Lokation eines Artefakts bestimmt wurde.

5.2.4 Location Stuffing

Das RAUM-System basiert auf der Übermittlung der Lokation des Senders von Datenpaketen. Um Artefakten, die selbst nicht über Einrichtungen zur Übermittlung ihrer Lokation verfügen, die Teilnahme an der Kommunikation im RAUM-System zu ermöglichen, wird Location Stuffing verwendet.

Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, daß ein Zugangsknoten, abzüglich einer bestimmten Abweichung, die gleiche Position hat, wie ein über ihn kommunizierendes Artefakt [Beigl, 2001]. Das sendende Artefakt kann das Fehlen der Lokationsinformation durch Setzen eines Bits im Kommunikations-Header anzeigen. Der Zugangsknoten, der ein derartiges RAUM-Paket empfängt, ergänzt das Paket mit seiner eigenen Lokation, bevor er es im RAUM-System weiterleitet.

Die Lokationsinformation ist, wie in Abschnitt 5.4 gezeigt wird, innerhalb eines RAUM-Pakets immer an derselben Stelle hinterlegt. Dadurch können auch Infrastrukturobjekte mit geringerer Leistungsfähigkeit Location Stuffing vornehmen.

Location Stuffing wurde bei der Evaluierung des RAUM-Referenz-Systems eingesetzt, um MediaCups die RAUM-konforme Kommunikation zu ermöglichen.

5.3 RAUM-Listen

Wie bereits in Abschnitt 4.5 erwähnt, verwenden Artefakte im RAUM-System zwei Listen, in denen sie die definierten und die aktiven RÄUME verwalten. Die R^d -Liste dient dabei der Speicherung von RÄUMen, die das Artefakt selbst definiert hat. Die R^c -Liste eines Artefakts besteht aus allen RÄUMen, in denen dieses Artefakt enthalten ist.

Dieser Abschnitt beschreibt den Aufbau und die Funktionen der verschiedenen Felder, der R^c - und R^d -Listen. Außerdem wird auf die Erweiterung der R^d -Liste im Rahmen des RAUM-Routing eingegangen.

5.3.1 R^c -Liste

Die R^c -Liste besteht, wie in Tabelle 5.3 dargestellt ist, aus sechs Feldern. Die Definer-ID ist der Identifikator des Artefakts, das einen RAUM definiert hat. Die ID ist 4 Byte lang und bildet zusammen mit der ein Byte großen RAUM-ID einen eindeutigen Identifikator (Schlüssel) für jeden RAUM in einem RAUM-System.

Dieser Schlüssel erlaubt in Kombination mit der 4 Bytes großen ID der Wurzel des Lokationsbaums die Kommunikation zwischen RÄUMen verschiedener RAUM-Systeme.

Definer-ID	RAUM-ID	RAUM-type	RAUM-shape	Definer-location	TTL
------------	---------	-----------	------------	------------------	-----

Tabelle 5.3 – Felder der R^c -Liste eines Artefakts im RAUM-System

RAUM-type und RAUM-shape beschreiben die Ausprägung des RAUMs bezüglich seines Typs (Abschnitte 4.4.3 - 4.4.5) und seiner Form (Abschnitt 4.4.1). Der Aufbau dieser Felder wird in Abschnitt 5.3.3 im Detail beschrieben. Die Definer-location repräsentiert die aktuelle Position des definierenden Artefakts des RAUMs.

Das Feld TTL enthält die Gültigkeitsdauer des Eintrags in der R^c -Liste. Dieser wird verwendet, um RÄUME für eine begrenzte Dauer zu definieren. Ist der Definitionszeitraum abgelaufen, kann der RAUM auf diese Weise von jedem Artefakt selbst aus seiner R^c -Liste gelöscht werden.

5.3.2 R^d -Liste

Die R^d -Liste eines Artefakts enthält lediglich vier Einträge (Tabelle 5.4). Definer-ID und Definer-location werden, um Redundanz zu vermeiden, nicht in der R^d -Liste eines

82 | Implementierung des RAUM-Systems

Artefakts gespeichert. Dies ist sinnvoll, da sich die Identität eines Artefakts nicht während des Betriebs ändern kann. Sie muß für alle von einem Artefakt definierten RÄU-Me nur ein einziges Mal gespeichert werden.

Die Lokation eines definierenden Artefakts kann sich jederzeit ändern. Um zeitaufwendige Aktualisierungen der R^d-Liste zu vermeiden, wird die Lokation des Artefakts ebenfalls zentral verwaltet.

RAUM-ID	RAUM-type	RAUM-shape	TTL
---------	-----------	------------	-----

Tabelle 5.4 – Felder der R^d-Liste eines Artefakts im RAUM-System

RAUM-Router implementieren eine leicht modifizierte Form der R^d-Liste. Diese enthält, wie Tabelle 5.5 zeigt, ein zusätzliches Port-Feld. Dieses zusätzliche Feld wird benutzt, um spezielle Routing-RÄUME zu definieren, wie sie in Abschnitt 4.8 eingeführt wurden.

RAUM-ID	RAUM-type	RAUM-shape	TTL	port
---------	-----------	------------	-----	------

Tabelle 5.5 - Felder der R^d-Liste eines RAUM-Routers

Routing-RÄUME stellen eine besondere Ausprägung von Zuhörer-RÄUMen dar. Ein Routing-RAUM definiert einen RAUM, aus dem der RAUM-Router Daten zur Weiterleitung annimmt. Das Port-Feld enthält dabei den Identifikator des physikalischen Netzwerkanschlusses des Routers, über den die Daten weitergeleitet werden. Das port-Feld hat eine Größe von einem Byte. Es erlaubt die Verwaltung von insgesamt 254 unabhängigen physikalischen Netzanschlüssen pro Router.

5.3.3 Listenfelder im Überblick

Tabelle 5.6 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Funktion und Größe der Felder der R_c- und R^d-Liste.

Bezeichnung des Felds	Größe in Bytes	Funktion
Definer-ID	4	Identifikator des definierenden Artefakts in der R _c -Liste
RAUM-ID	1	Identifikator eines RAUMs
RAUM-type	1	Kommunikationstyp und Form des RAUMs
RAUM-shape	1 – 3	Ausprägung der RAUM-Form
Definer-location	32	Lokation des definierenden Artefakts in der R _c -Liste

TTL	4	Gültigkeitsdauer einer RAUM-Definition
port	1	Identifikator der physikalischen Netzanschlüsse eines RAUM-Routers

Tabelle 5.6 – Listenfelder im Überblick

Das Feld RAUM-type kodiert sowohl den Kommunikationstyp eines RAUMs, als auch seine Form. Die zwei höchstwertigen Bits geben dabei den Kommunikationstyp an und die zwei niederwertigsten Bits kodieren die Form. Tabelle 5.7 zeigt den Aufbau des RAUM-type Bytes.

RAUM-type Byte	Kommunikationstyp	RAUM-type Byte	Form
01 xxxx ff	Vortragender-RAUM	tt xxxx 00	semantischer RAUM
10 xxxx ff	Zuhörer-RAUM	tt xxxx 10	zylindrischer RAUM
11 xxxx ff	Diskussions-RAUM	tt xxxx 11	kubischer RAUM

Tabelle 5.7 – Aufbau des RAUM-type Bytes

Die vier reservierten, in Tabelle 5.7 mit x gekennzeichneten, Bits werden in der vorliegenden Implementierung auf 0 gesetzt. Damit ergibt sich zum Beispiel für einen kubischen Diskussions-RAUM das RAUM-type Byte:

t	t	x	x	x	x	f	f
1	1	0	0	0	0	1	1

Das RAUM-shape Feld enthält je nach vorgegebener Form des RAUMs 1-3 Bytes. Dieses Feld dient der Speicherung der zur Form gehörenden Dimensionsangaben. Tabelle 5.8 faßt die möglichen Ausprägungen des RAUM-shape Felds zusammen.

RAUM-Form	Anzahl Bytes	Inhalt
semantischer RAUM	1	Ebene des semantischen RAUMs im Lokationsbaum
zylindrischer RAUM	2	Je ein Byte für Radius und Höhe des Zylinders. Beide ab-kodiert
kubischer RAUM	3	Je ein Byte für x-, y- und z-Koordinaten in ab-Kodierung

Tabelle 5.8 – Inhalt des RAUM-shape Felds

Die Einträge für die R_c - und R_d -Listen entnimmt ein Artefakt den Meldungen, die bei der Anwendung der OPEN, CLOSE und MOVE Operatoren erzeugt werden. Die

Funktionen, die dem Benutzer den Zugriff auf die RAUM Operatoren erlauben, sind Gegenstand des folgenden Abschnitts.

5.4 RAUM-API und Aufbau der RAUM-Pakete

Dieser Abschnitt erläutert die Funktionen der RAUM-API. Die RAUM-API stellt die Schnittstelle zur Programmierung von Anwendungen, beziehungsweise der anwendungsnahen Schichten, zur Verfügung.

Da es sich bei der vorliegenden Implementierung um ein Referenz-System handelt, wurde auf die Integration anwendungsspezifischer Funktionen verzichtet. Die Implementierung der optionalen Schichten des RAUM-Systems kann hohe Anforderungen an die zugrunde liegende Hardware stellen, so daß diese Implementierung nicht auf allen Evaluationsplattformen lauffähig wäre [Beigl, 2001].

Die hier beschriebene RAUM-API beschränkt sich auf Funktionen für den Zugriff auf die Funktionalität des RAUM-Systems. Funktionen zur Steuerung anderer Vermittlungsinstanzen bleiben hier unberücksichtigt.

Die Funktionen, welche dem Benutzer durch die RAUM-API zur Verfügung gestellt werden, sollen eine einfache Handhabung des Systems ermöglichen und die system-internen Abläufe kapseln. Sie geben dem Benutzer Zugriff auf die Operatoren des RAUM-Systems.

Die hier vorgestellte Implementierung beschränkt sich auf grundlegende Funktionen des RAUM-Systems. Aus diesem Grund wurde auf die Integration der Operatoren ACTIVATE, DEACTIVATE und CHANGE in der vorliegenden Version des Referenz-Systems verzichtet.

5.4.1 Aufbau der RAUM-Pakete

Bei der Beschreibung der API-Funktionen werden die von den verschiedenen Funktionen gesendeten RAUM-Meldungen betrachtet. Bei RAUM-Meldungen handelt es sich um Protokolldateneinheiten (Protocol Data Units, PDUs) der RAUM-Schicht.

An dieser Stelle wird der Aufbau eines RAUM-Pakets von der Kommunikationsschicht bis einschließlich der Diversifikationsschicht erläutert. Der Aufbau dieser Schichten unterscheidet sich bei Paketen, die von verschiedenen Funktionen der RAUM-API gesendet werden, nicht.

Abbildung 5.5 zeigt den Aufbau der unteren Schichten eines RAUM-Pakets. Die Angabe der Schicht (Layer) bezieht sich auf das ISO/OSI Basisreferenzmodell. Das Paket der Schicht 2.1 bildet die PDU der Bitübertragungsschicht. Es wird am Anfang und am Ende von einem Trennsymbol (Delimiter) begrenzt. Diese Trennsymbole werden zur Erkennung der Grenzen der einzelnen Pakete benutzt. Aus diesem Grund dürfen die als Delimiter verwendeten Zeichen nicht innerhalb eines Pakets vorkommen. Die Technik, die im RAUM-System hierzu zum Einsatz kommt, wird Zeichenstopfen genannt.

Beim Zeichenstopfen werden Steuerzeichen (Escape Chars) in ein Datenpaket eingefügt, um vorkommende Trennsymbole innerhalb einer PDU zu markieren. Bei der Anwendung des Verfahrens wird vor dem Anfügen der Delimiter die Schicht 2.1 PDU nach Vorkommen der Trennsymbole und des Steuerzeichens durchsucht. Im RAUM-System sind dies: Ein Byte mit dem Wert 0 als Anfangssymbol, eines mit dem Wert 192 als Endsymbol und ein Byte mit dem Wert 219 als Steuerzeichen.

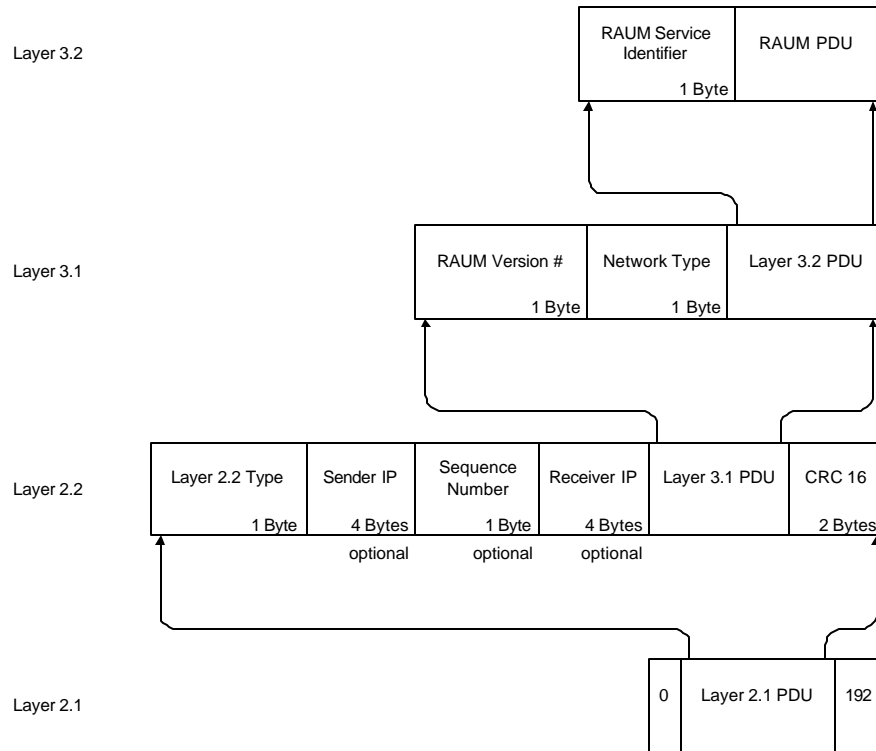


Abbildung 5.5 – Aufbau eines RAUM-Paketes

Wird eines dieser Zeichen gefunden, wird vor ihm das Steuerzeichen eingefügt und der Wert des folgenden Bytes um 1 erhöht. Auf diese Weise enthält die Schicht 2.1 PDU nach dem Zeichenstopfen keine Bytes mit den Werten 1 oder 192 mehr, und alle Vorkommen des Steuerzeichens zeigen an, daß das nachfolgende Byte erhöht wurde.

Beim Empfangen eines Pakets kann die ursprüngliche Schicht 2.1 PDU wieder hergestellt werden, indem alle Steuerzeichen entfernt werden und dabei das auf ein Steuerzeichen folgende Byte um 1 verringert wird.

Die Schicht 2.2 übernimmt im RAUM-System zwei Aufgaben: Erstens wird die Übertragung von Daten durch einen Fehlererkennungsmechanismus gesichert, zweitens bietet diese Schicht verschiedene Übertragungsmodi. Zur Fehlererkennung wird der

86 | Implementierung des RAUM-Systems

Cyclic Redundancy Check (CRC) verwendet. Der eingesetzte Algorithmus wurde von der CCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone) als CRC16 standardisiert.

Die unterstützten Übertragungsmodi beinhalten die verlässliche oder unzuverlässige Auslieferung von Daten und die Identifikation von Sendern und Empfängern eines Pakets anhand einer IP-Adresse. In der vorliegenden Version nutzt die RAUM-Kommunikation allerdings nur die Übertragung der ID eines Artefakts in Form seiner IP-Adresse.

Auf Schicht 3.1, der Diversifikationsschicht, wird die Identifikation der Vermittlungsinstanz vorgenommen. Die verschiedenen Vermittlungsprotokolle werden, wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben, in dem Byte „Network Type“ kodiert.

Die PDUs der Schicht 3.2 enthalten neben der eigentlichen RAUM PDU den „RAUM Service Identifier“, ein Byte, welches den Typ der RAUM PDU angibt. Anhand dieses Bytes wird festgestellt, um welche Art von Meldung es sich bei der RAUM PDU handelt und wie diese weiter verarbeitet werden muß.

Die Ausprägungen dieser verschiedenen RAUM PDUs werden im Zusammenhang mit den API-Funktionen, welche die entsprechenden Meldungen senden, eingeführt.

5.4.2 API-Funktion: open_raum

Die Funktion `open_raum` öffnet einen neuen RAUM. Ihr wird vom Benutzer der Kommunikationstyp, die Form, die Dimension und die Gültigkeitsdauer des neuen RAUMs übergeben. Der Rückgabewert der Funktion ist die RAUM-ID des neuen RAUMs oder ein Fehlercode, wenn kein RAUM definiert werden konnte.

Location Description	RAUM Type	RAUM Shape	TTL	RAUM ID
32 Bytes	1 Byte	1 - 3 Bytes	1 Byte	1 Byte

Abbildung 5.6 – RAUM PDU (OPEN)

Die von `open_raum` versendete OPEN-Meldung enthält die Lokation des Senders, den RAUM-Typ, die Dimension des RAUMs, die Gültigkeitsdauer der Definition und die RAUM ID. Abbildung 5.6 zeigt eine OPEN PDU. Aus diesen Informationen und der aus Schicht 2.2 des RAUM-Pakets extrahierten Sender ID generiert das empfangende Artefakt den Eintrag für seine R_c-Liste.

5.4.3 API-Funktion: close_raum

Durch die Funktion `close_raum` können RÄUME vor dem Ablauf ihrer TTL wieder geschlossen werden. Die von `close_raum` gesendete Meldung unterscheidet

sich von der OPEN PDU lediglich dadurch, daß das Byte „TTL“ den Wert 255 enthält. Dieser Funktion wird vom Benutzer die RAUM-ID des zu schließenden RAUMs übergeben.

5.4.4 API-Funktion: `move_raum`

Die Funktion `move_raum` muß vom Benutzer immer dann aufgerufen werden, wenn das Artefakt seine Position verändert hat. Durch das Aufrufen von `move_raum` werden alle mit einem Artefakt assoziierten Lokationseinträge in der R-Liste aktualisiert. Die von `move_raum` gesendete RAUM PDU enthält die neue Lokation des Senders. Artefakte, die eine MOVE-Meldung empfangen, aktualisieren die Lokationseinträge aller RÄUME, die vom Sender der Meldung definiert wurden.

5.4.5 API-Funktion: `send_raum`

Durch die Funktion `send_raum` können Anwendungen, beziehungsweise die anwendungsnahen Schichten des RAUM-Systems, Daten austauschen. Diese Funktion stellt die eigentliche lokationsbasierte Kommunikation zur Verfügung. Der Funktion `send_raum` übergibt der Benutzer beim Aufruf das zu sendende Daten Paket (Payload Data).

Abbildung 5.7 zeigt den Aufbau einer SEND PDU. Sie enthält neben den Nutzdaten die aktuelle Lokation des Senders. Artefakte im RAUM-System, die eine derartige SEND PDU empfangen, berechnen die RÄUME in ihrer R-Liste, in denen die Lokation des Senders liegt. Für die so gefundenen RÄUME wird der Kommunikationstyp überprüft. Im Fall eines Diskussions-RAUMs werden die Daten angenommen und weiterverarbeitet. Im Fall eines Vortragenden-RAUMs wird zusätzlich die ID des Senders mit der ID des definierenden Artefakts des RAUMs verglichen.

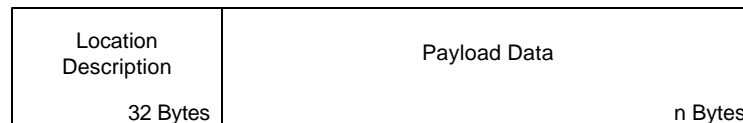


Abbildung 5.7 – RAUM PDU (SEND)

5.4.6 API-Funktion: `recv_raum`

Die Funktion `recv_raum` dient zum Empfangen von Daten im RAUM-System. Diese Funktion muß vom Benutzer zyklisch aufgerufen werden. Hat das Artefakt Nutzdaten empfangen, werden sie von `recv_raum` zurückgeliefert.

Die Verarbeitung von administrativen Daten geschieht ohne weiteres Zutun des Benutzers. Die Funktion `recv_raum` schließt die Auswahl der richtigen Vermittlungsinstanz und die entsprechende Verarbeitung der Schicht 3.2 PDU ein.

5.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die in dieser Arbeit entwickelte Implementierung des RAUM-Systems vorgestellt. Dabei wurden Designentscheidungen erläutert, die Einfluß auf die praktische Umsetzung der RAUM-Architektur in ein funktionierendes Kommunikationssystem hatten. Besonders wurde in diesem Kapitel auf die Implementierung verschiedener Verfahren zur Verwaltung von Lokationsinformationen und RAUM-Listen eingegangen. Der Aufbau der im RAUM-System zur Kommunikation verwendeten Datenpakete wurde beschrieben und die implementierten RAUM-API Funktionen wurden vorgestellt.

Während der Implementierung des RAUM-Referenz-Systems hat sich gezeigt, daß die Beschränkung auf nur einen Kontrollfaden innerhalb der RAUM-Stacks, auch auf leistungsstarken Geräten wie dem Beck IPC@Chip, bei der Umsetzung von RAUM-Routern zu Leistungsproblemen führt. Die Leistung der Routerimplementierung auf Basis des Referenz-Stacks ist zwar durchaus ausreichend für den praktischen Einsatz, der IPC@Chip arbeitet dabei allerdings an seiner Leistungsgrenze. Es wäre somit nicht möglich, komplexere Routingverfahren auf diesem Gerät zu implementieren. Bei der Benutzung eines optimierten Stacks für den IPC@Chip scheint dieser eine ideale Plattform für die Implementierung von RAUM-Infrastrukturobjekten darzustellen, die eine hohe Rechenleistung und relativ viel Speicher benötigen.

Fazit der Implementierung der Komponenten des RAUM-Systems ist, daß die Umsetzung eines Referenz-Systems für die schnelle Entwicklung und Portierung von Beispielanwendungen sinnvoll ist. Dies gilt vor allem, wenn das Kommunikationssystem unter möglichst realitätsnahen Bedingungen getestet werden soll. Für einen produktiven Einsatz des RAUM-Systems ist die Implementierung, die im Rahmen dieser Arbeit entstanden ist, allerdings nur bedingt tauglich.

Im folgenden Kapitel werden die Erfahrungen, die während dieser Arbeit mit dem Einsatz des RAUM-Systems gesammelt wurden, wiedergegeben.

6 Evaluierung im praktischen Einsatz

In diesem Kapitel soll das RAUM-System und sein Verhalten im praktischen Einsatz bewertet werden. Zu diesem Zweck wird zunächst der Versuchsaufbau im Telecooperation Office (TecO) am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe beschrieben. Die Bewertung des Systems wird anhand der in Kapitel 3 erarbeiteten Anforderungen vorgenommen.

6.1 Versuchsaufbau im TecO

Dieser Abschnitt beschreibt die RAUM-Umgebung, die am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe installiert und im Einsatz ist. Zunächst sollen die Infrastruktur und die am Institut vorhandenen Artefakte eingeführt werden. Dann werden die auf dem RAUM-System basierenden Anwendungen vorgestellt, mit denen das in dieser Arbeit entwickelte Referenz-System getestet wurde.

6.1.1 Infrastruktur

Die am Institut für Telematik vorhandene RAUM-Infrastruktur diente in dieser Arbeit als Grundlage für den Test des RAUM-Referenz-Stacks. Diese Infrastruktur besteht aus verschiedenen Geräten, die RAUM-Kommunikation unterstützen und die über verschiedene Kommunikationsmedien verbunden sind.

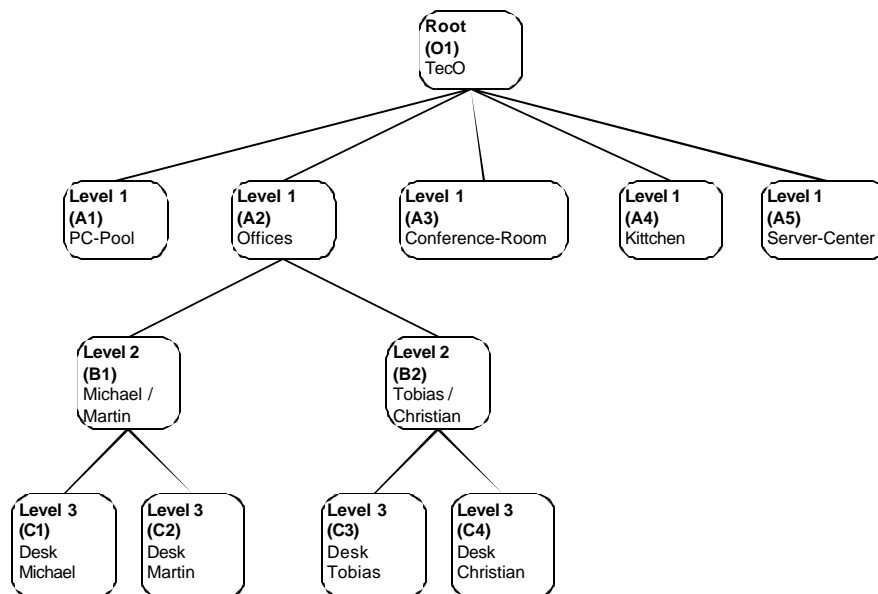


Abbildung 6.1 – Lokationsbaum des RAUM-Systems am TecO

90 | Evaluierung im praktischen Einsatz

Die Grundlage für die Beschreibung der RAUM-Infrastruktur bildet der Lokationsbaum des RAUM-Systems, der in Abbildung 6.1 dargestellt ist. Dieser Lokationsbaum besitzt vier Ebenen und definiert insgesamt acht Blätter. Abbildung 6.2 enthält eine schematische Darstellung dieser acht Blätter und der in ihnen vorhandenen Geräte und Kommunikationsmedien.

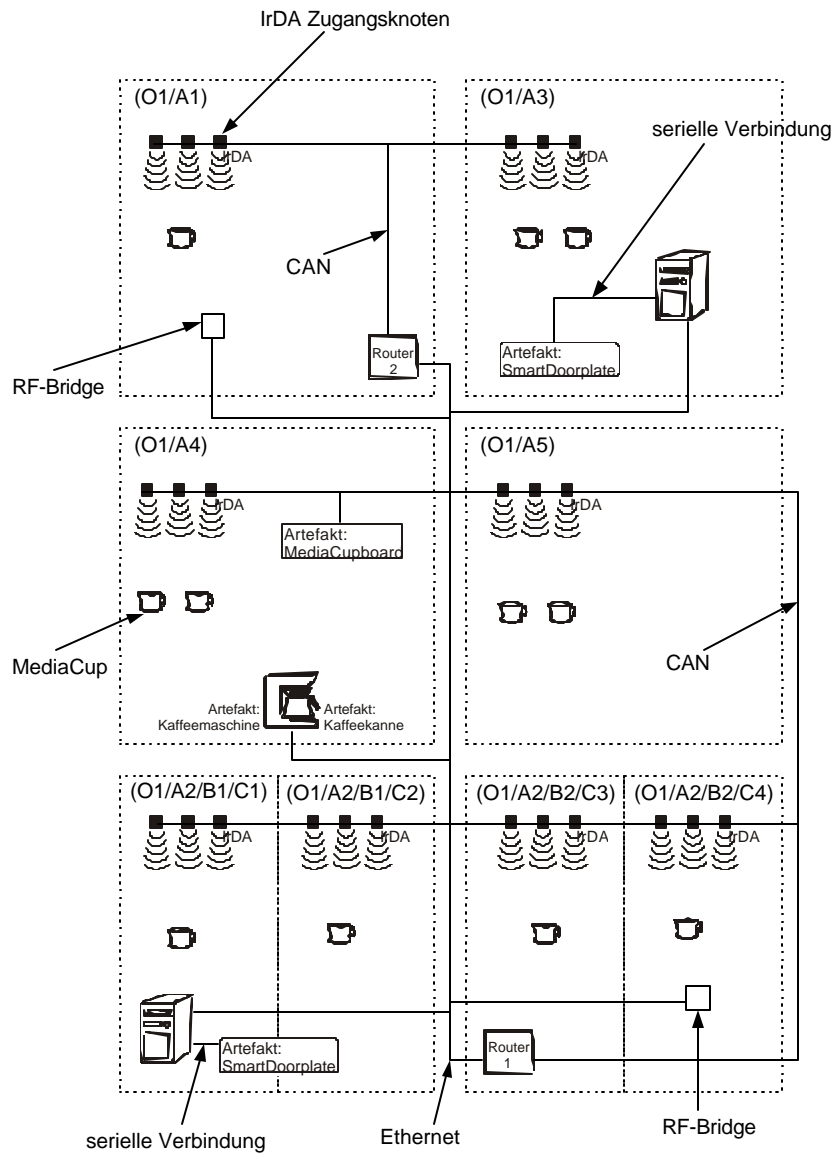


Abbildung 6.2 – Schematische Darstellung der RAUM-Infrastruktur am Institut

Die in Klammern stehenden Bezeichnungen der Blätter in Abbildung 6.2 entsprechen dem Pfad von der Wurzel des Lokationsbaums zu dem jeweiligen Blatt. Im System verfügbare Kommunikationsmedien sind:

- freie Ethernetanschlüsse in allen Räumen
- IrDA-Zugangsknoten in allen Räumen
- WaveLAN Versorgung im gesamten Bereich des Instituts
- CAN-Verbindungen zwischen Routern und IrDA-Zugangsknoten
- serielle Anschlüsse an den Routern und PC-Bridges
- RF-Zugang über RF-Bridges

Abbildung 6.2 zeigt die im RAUM-System vorhandenen Artefakte bezogen auf ihre Lokation im Lokationsbaum. Das bedeutet zum Beispiel, daß die RF-Bridge auf Christians Schreibtisch (O1/A2/B2/C4) nicht nur diesen Bereich mit einem RF-Zugang versorgt, sondern das gesamte Büro (O1/A2/B2).

Jedes Blatt des Lokationsbaums verfügt über Zugänge via Ethernet, IrDA und WaveLAN. In den Blättern (O1/A1), (O1/A3), (O1/A2/B1/C1) und (O1/A2/B2/C3) stehen zusätzlich serielle Anschlüsse zur Verfügung.

Der RAUM-Router 1 in (O1/A2/B2/C3) ist verantwortlich für die Büros (O1/A2), die Küche (O1/A4) und den Server-Raum (O1/A5). Der Router 2 im PC-Pool Raum (O1/A1) versorgt diesen und den Besprechungsraum (O1/A3).

6.1.2 Artefakte und RAUM-Anwendungen

In diesem Abschnitt werden die im RAUM-System implementierten Artefakte und ihre Anwendungen besprochen. Dabei wird kurz die Technik der einzelnen Artefakte eingeführt und ihre Funktion beschrieben. Die Anwendungen im RAUM-System werden dann anhand der beteiligten Artefakte und ihres Kommunikationsverhaltens im RAUM-System beschrieben.

MediaCup

Bei der MediaCup [Beigl et al., 2000] [Gellersen et al., 1999] handelt es sich um eine mit Rechner-, Sensor- und Kommunikationstechnologie ausgestattete Kaffeetasse. Ziel der Entwicklung der MediaCup war, einen Alltagsgegenstand möglichst unauffällig mit rechnergestützter Technologie zu erweitern, um so, entsprechend der Idee des Ubiquitous Computing, einen Mehrwert für den Benutzer erzielen zu können.

Die MediaCup selbst ist ein nur sendendes Artefakt. Aus diesem Grund kann der Benutzer die Daten der MediaCup nur über die mit der Tasse extern kommunizierenden Anwendungen nutzen.

92 | Evaluierung im praktischen Einsatz

Die MediaCup verfügt über verschiedene Sensoren, die es ihr erlauben, Informationen über ihren augenblicklichen Zustand zu sammeln. Neben einem Temperatursensor und einem „Tisch“-Schalter, über den die Tasse feststellen kann, ob sie auf einer Oberfläche abgestellt ist oder getragen wird, verfügt die MediaCup über Bewegungssensoren, eine IrDA-Kommunikationsschnittstelle und einen kombinierten Prozessor- und Speicherbaustein. Die Tasse wird über Akkus mit Energie versorgt. Diese werden durch Plazieren der Tasse auf ihrer Untertasse aufgeladen. Abbildung 6.3 zeigt eine MediaCup und die in ihr eingebaute Elektronik.

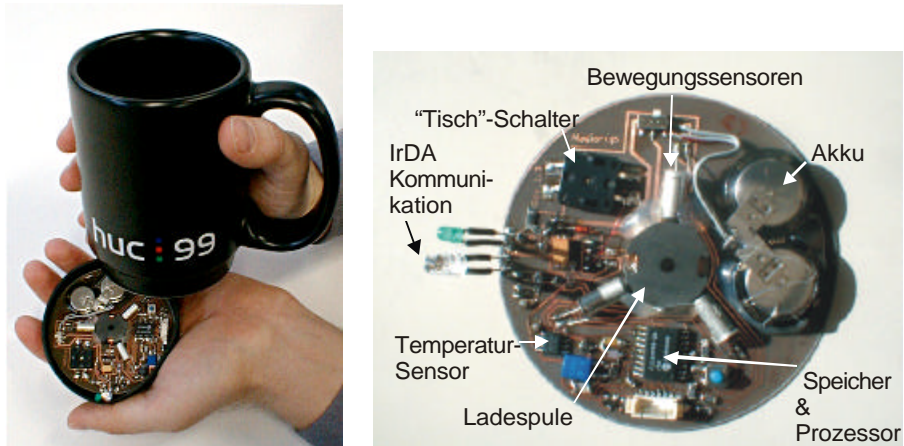


Abbildung 6.3 – Artefakt des RAUM-Systems: MediaCup

Die MediaCup ist in der Lage, aus den ihr zur Verfügung stehenden Sensordaten ihren Zustand zu berechnen und diesen über IrDA in das RAUM-System zu senden. Dieser Zustand kann von anderen Artefakten und deren Anwendungen als Kontext interpretiert oder angezeigt werden.

Die Zustände der MediaCup setzen sich aus zwei Komponenten zusammen: ihrer Temperatur und ihres Bewegungszustands. Hier sind insgesamt 12 Kombinationen möglich, die sich aus den in Tabelle 6.1 zusammengefaßten Zuständen ergeben.

Temperatur				Bewegung		
kalt	lauwarm	warm	heiß	Steht auf Tisch	Es wird daraus getrunken	Es wird mit der Tasse gespielt

Tabelle 6.1 – Grundzustände der MediaCup

Eines der Artefakte, welche die Daten der Tasse auswerten, ist die HotClock.

HotClock

Die HotClock [Beigl, 2001] ist eine Armbanduhr, welche in der Lage ist, die Daten der MediaCup zu empfangen. Sie kann die Temperatur der Tasse anzeigen und den Benutzer durch ein Tonsignal warnen, wenn sich die Tasse im Zustand „heiß“ befindet.



Abbildung 6.4 – Artefakt des RAUM-Systems: HotClock

Abbildung 6.4 zeigt die HotClock, bei der es sich um ein Programm auf einer On-Handpc Uhr der Firma Matsucom handelt. Dieses Artefakt definiert einen zylindrischen Zuhörer-RAUM mit einem Durchmesser von 50cm, aus dem es Meldungen der MediaCups empfangen und auswerten kann.

MediaCupBoard und CoffePump

Das MediaCupBoard und die CoffePump sind Artefakte, die sich in der Kaffeeküche (O1/A4) des Instituts befinden. Das MediaCupBoard ist ein Geschirrschrank, der die Anzahl der in ihm befindlichen Tassen auf einem Display anzeigt. Er definiert dazu einen kubischen Zuhörer-RAUM, der seinen eigenen Innenmaßen entspricht.

Die CoffePump ist eine Kaffeemaschine mit Kanne, die einen semantischen Zuhörer-RAUM definiert, der den Bereich des gesamten Instituts abdeckt. Stellt die CoffePump fest, daß alle Tassen leer oder kalt sind und die Kanne ebenfalls leer ist, so kann sie selbständig neuen Kaffee brühen.

SmartDoorPlate

Das SmartDoorPlate ist ein aktives elektronisches Türschild, welches den angezeigten Text verändern kann (Abbildung 6.5). Dieses Türschild definiert einen Zuhörer-RAUM, dessen Bereich sich mit dem Raum deckt, an den das SmartDoorPlate angebracht ist. Es empfängt dann die Meldungen aller Artefakte aus diesem RAUM und ändert seine Anzeige je nach ermitteltem Kontext.

Ein Kontext, der zum Beispiel von dem SmartDoorPlate erkannt wird, ist eine stattfindende Besprechung. In diesem Fall ändert sich die Anzeige am Büro (O1/A2/B1) von einem Namensschild in „Meeting“, im Fall des Besprechungsraums (O1/A3) wechselt die Anzeige von „Besprechungsraum“ auf „Meeting“.



Abbildung 6.5 – Artefakt des RAUM-Systems: SmartDoorPlate

Das SmartDoorPlate interpretiert dabei die Anwesenheit und Aktivität mehrerer MediaCups und schließt so auf das Stattfinden einer Besprechung.

IrDA-Zugangsknoten und PC-Bridges

Die IrDA-Zugangsknoten und PC-Bridges sind im RAUM-System für die Umsetzung zwischen verschiedenen Medien verantwortlich. Die PC-Bridges nehmen RAUM-Daten über eine Ethernetschnittstelle an und leiten sie auf einer seriellen Leitung an die SmartDoorPlates weiter.

Die IrDA-Zugangsknoten ermöglichen die bidirektionale Umsetzung von RAUM-Paketen zwischen kabelloser Kommunikation via IrDA und dem kabelgebundenen CAN-Bus.

RAUM-Router

Die RAUM-Router stellen die Vermittlungsknoten des RAUM-Systems dar. Die ihnen zugrunde liegende Hardwareplattform ist der in Abschnitt 5.1.2 beschriebene Beck IPC@Chip in einem DK40 Evaluationsmodul.

Die Router, die mit dem in dieser Arbeit implementierten RAUM-Referenz-Stack arbeiten, haben verschiedene Aufgaben: In erster Linie vermitteln sie RAUM-Pakete zwischen ihren verschiedenen physikalischen Netzwerkanschlüssen. Sie dienen aber auch als Multi-Bridges, da sie die Daten beim Vermitteln zwischen verschiedenen Medien umsetzen.

Von den RAUM- Routern unterstützte Übertragungsmedien sind:

- Ethernet
- CAN-Bus
- I²C
- Serielle Leitungen nach RS232

Die Router im RAUM-System können über Konfigurationsdateien konfiguriert werden, die vom Administrator per FTP (File Transfer Protocol) auf den Router übertragen werden können. Zur dynamischen Konfiguration verfügen sie zusätzlich über eine Telnet-Benutzerschnittstelle, die interaktiv Änderungen an der Konfiguration erlaubt.

Die Telnet-Schnittstelle kann darüber hinaus zur Analyse der vom Router verarbeiteten RAUM-Pakete genutzt werden.

Um das RAUM-System flexibler testen zu können, wurde in die Routeranwendung ein vollständiges interaktives Artefakt integriert. Über dieses kann der Benutzer, unabhängig von der Funktion des Routers, RÄUME öffnen und schließen und Textmitteilungen in das RAUM-System senden oder aus ihm empfangen.

Diese Anwendung wurde vor allem dazu genutzt, um Lastspitzen im System zu erzeugen und die Kommunikation mit vielen RÄUMen verschiedener Typen zu untersuchen.

6.2 Evaluierung: RAUM-System

Die folgenden Abschnitte dieser Arbeit dienen der Bewertung des RAUM-Systems anhand der mit ihm gesammelten praktischen Erfahrungen während der Implementierung und Benutzung.

Als Bewertungsgrundlage dienen die in Abschnitt 3.1 erarbeiteten Anforderungen an Kommunikationssysteme für Ubiquitous Computing Umgebungen und die daraus abgeleiteten wünschenswerten Eigenschaften derartiger Systeme.

6.2.1 Anzahl der unterstützten Geräte

Das RAUM-System unterstützt die Identifikation von Artefakten anhand einer 32 Bit langen, eindeutigen Adresse. Hier können IP-Adressen zum Einsatz kommen, es ist aber auch möglich, für jede Wurzel eines RAUM-Systems den vollständigen Adressraum zu nutzen. Modifizierte RAUM-Router, sogenannte IP-Gateways, können dann Verbindungen zwischen verschiedenen RAUM-Installationen herstellen. Damit ist eine 64 Bit Adressierung im Gesamtsystem möglich. Die Adressen setzen sich dabei aus einer 32 Bit Artefakt-Adresse und einer 32 Bit Root-Adresse zusammen.

Wichtig für die Bewertung der Anzahl der unterstützten Geräte ist das Verhalten des Systems bei der Kommunikation einer großen Anzahl von Artefakten. Bei der Beobachtung des RAUM-Systems hat sich gezeigt, daß die RAUM-Kommunikation prinzipiell gut mit der Anzahl der Geräte und dem erzeugten Datenaufkommen skaliert. Allerdings fehlen Mechanismen, welche die unterschiedlichen Übertragungskapazitäten der verschiedenen Medien berücksichtigen. Aus diesem Grund müssen gekoppelte Segmente immer mit der Übertragungsgeschwindigkeit des langsamsten Mediums betrieben werden. Abhilfe kann hier allerdings geschaffen werden, indem Router und andere Infrastrukturobjekte Daten vor dem Weiterleiten in einem Puffer zwischenspeichern.

Das RAUM-System ist also im Hinblick auf die Anzahl der unterstützten Geräte als „gut“ zu bewerten. Es war in dieser Arbeit nicht möglich, die tatsächlichen technischen Grenzen im Versuch zu bestimmen, da hierzu noch zu wenige reale Artefakte zur Verfügung stehen.

Es ist allerdings zu bemerken, daß die Implementierung von Artefakten auf Basis der Referenz-Implementierung nur zu Versuchszwecken dienen kann, da diese aus den bereits genannten Gründen nicht die volle Leistungsfähigkeit der zugrunde liegenden Hardwareplattformen ausnutzen kann.

6.2.2 Konfiguration des Kommunikationsbereichs

Im RAUM-System werden die Kommunikationspartner ausschließlich anhand der Konfiguration der Kommunikationsbereiche ausgewählt. Aus diesem Grund bietet das System eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Konfiguration der Kommunikationsbereiche.

Kommunikationsbereiche im RAUM-System, die RÄUME, können dynamisch von den Artefakten im System konfiguriert werden. Dabei können die definierenden Artefakte nicht nur die geometrische Ausdehnung der RÄUME, sondern auch ihre Kommunikationseigenschaften, bestimmen.

Die Unterstützung des RAUM-Systems für die Konfiguration von Kommunikationsbereichen kann als „sehr gut“ bewertet werden. Kein anderes der untersuchten Kommunikationssysteme ist in der Lage, den Artefakten ein ähnliches Maß an Kontrolle über ihren Kommunikationsbereich zu geben.

6.2.3 Unterstützung mobiler Teilnehmer

Das RAUM-System integriert eine Vielzahl von Übertragungsmedien. Dies schließt Medien zur mobilen Kommunikation wie IrDA, WaveLAN und RF-Kommunikation ein. Somit sind alle Voraussetzungen für die Anbindung von mobilen Teilnehmern erfüllt.

Die Mobilität von Artefakten wird im RAUM-System durch den MOVE Operator unterstützt. Dieser ermöglicht allen Artefakten gleichermaßen, ihre aktuelle Lokation im System anzuzeigen. Diese dient dann als Grundlage für die Abbildung des Kommunikationsbereichs des Artefakts auf seine reale Umgebung.

Da das RAUM-System nicht auf den Einsatz eines speziellen Positionsbestimmungssystems angewiesen ist, sondern verschiedene solcher Systeme integrieren kann, kann jedes Artefakt, welches seine Position über eines dieser Systeme bestimmen kann, im RAUM-System mobil kommunizieren. Durch die Technik des Location Stuffing wird sogar Artefakten, die keine Einrichtung zur Positionsbestimmung beinhalten, die mobile Kommunikation ermöglicht.

Aus den genannten Gründen kann die Unterstützung von mobilen Teilnehmern im RAUM-System als „sehr gut“ bewertet werden.

6.2.4 Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises

Das RAUM-System überdeckt einen begrenzten geometrischen Bereich. Artefakte können sich in diesen Bereich hinein oder aus ihm heraus bewegen. Prinzipiell unterstützt das RAUM-System diese Form der Dynamik, da die Kommunikation im System nur anhand der Lokation des Senders stattfindet. Funktionen des RAUM-Systems, die eine Identifikation des Teilnehmers voraussetzen, können dann allerdings nicht genutzt werden.

Alle Funktionen des Systems stehen nur zur Verfügung, wenn jedes Artefakt, welches einen RAUM definiert, eindeutig identifiziert werden kann. Dazu müßte die Identifikation aller existierender Artefakte eindeutig sein und sich nicht nur von RAUM-Installation zu RAUM-Installation unterscheiden. Dies begrenzt den verfügbaren Adressraum für Artefakte auf 32 Bit.

Die Unterstützung des RAUM-Systems für einen dynamischen Teilnehmerkreis ist mit „befriedigend“ zu bewerten, da in der vorliegenden Version nicht die dynamische Konfiguration der Teilnehmer unterstützt wird, sondern Dynamik im Kommunikationsbereich lediglich durch statische Vorkonfiguration aller Artefakte erreicht werden kann.

Eine dynamische Adressvergabe aus einem Adresspool, welcher einer Wurzel eines RAUM-Systems zugeordnet ist, könnte dieses Problem lösen. Dabei ist allerdings zu untersuchen, ob ein derartiges Verfahren auch für Kleinstgeräte und Minimal-Artefakte realisierbar ist.

6.2.5 Energiebedarf der Grundkommunikation

Das RAUM-System erlaubt es Artefakten, ihren Energieverbrauch vollständig zu kontrollieren. Artefakte können daher ihr Kommunikationsverhalten den Anforderungen ihrer Anwendung anpassen.

Eine minimale Form der RAUM-Kommunikation implementiert zum Beispiel die MediaCup. Sie verfügt nicht über Positionsbestimmungseinrichtungen, sondern nutzt Location Stuffing und sendet Daten nur dann, wenn sie benutzt wird. Ansonsten fällt sie in einen Schlaf-Modus mit minimalem Energiebedarf, aus dem sie erst durch Bewegung wieder erwacht.

Wie am Beispiel der MediaCup aufgezeigt, reicht es aus, relativ kleine Datenpakete in variablen zeitlichen Abständen in das System zu senden. Daher kann der Energiebedarf der Grundkommunikation als „gering“ bewertet werden.

Dadurch ist es möglich, Geräte aus allen fünf in Abschnitt 3.1.5 vorgestellten Kategorien des Energiebedarfs im RAUM-System zu betreiben.

6.2.6 Modularität des Systems

Die Architektur des RAUM-Systems ist in Schichten organisiert. Dies ermöglicht, wie am Beispiel der Referenz-Implementierung in dieser Arbeit gezeigt wurde, einen modularen Aufbau des Systems.

Durch die optionalen Schichten, die nicht von allen Artefakten implementiert werden müssen, können RAUM-Stacks für leistungsschwache Geräte realisiert werden. Diese müssen lediglich Funktionen unterstützen, die von der Anwendung auf den jeweiligen Artefakten vorausgesetzt werden.

Die Modularität des RAUM-Systems kann im Vergleich mit den anderen untersuchten Systemen, wie die der mobilen Ad Hoc Netzwerke, als „hoch“ eingestuft werden. Damit begrenzt auch die Modularität des Systems nicht das Spektrum der einsetzbaren Artefakte.

6.2.7 Komplexität der Grundfunktionen

Kleinstgeräte und leistungsschwache Artefakte sind in der Lage, an der Kommunikation im RAUM-System teilzunehmen. Dies zeigt vor allem die Beobachtung des Einsatzes der MediaCups in der Versuchsumgebung am Institut. Die Komplexität der hier implementierten Grundfunktionen kann als „sehr gering“ bewertet werden.

Wenn allerdings zur Bewertung nicht die Funktionen zugrunde gelegt werden, die mindestens zur Kommunikation vorhanden sein müssen, sondern alle Funktionen, welche zur bidirektionalen Kommunikation und Definition von RÄUMen benötigt werden, ist das RAUM-System als „komplex“ zu bewerten. In diesem Fall sind nicht nur Funktionen zum Senden, sondern auch zum Empfangen von RAUM-Meldungen nötig, die das Vorhandensein von Implementierungen des Lokationssystems und der RAUM-Listen zwingend voraussetzt.

Die Implementierung dieser System-Dienste setzt allerdings die Verfügbarkeit von Ressourcen wie ausreichend Speicherkapazität und genügend Rechenleistung voraus. Die Implementierung des Referenz-Systems hat gezeigt, daß schon die Beschränkung auf nur einen Kontrollfaden extrem hohe Ansprüche an die Ressourcen der Hardwareplattform stellt.

Eine globale Bewertung der Komplexität der Grundfunktionen muß sowohl Minimal-Stacks wie den der MediaCup berücksichtigen, als auch die Komplexität einer allgemeineren Implementierung. Da das RAUM-System die Möglichkeit bietet, der Leistungsfähigkeit der Artefakte angepaßte Implementierungen zu erstellen, kann die Komplexität der Grundfunktionen auf das gesamte RAUM-System bezogen als „variabel“ bewertet werden.

6.2.8 Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation

Lokationsbasierte Kommunikation stellt die primäre Kommunikationsform des RAUM-Systems dar. Durch die Integration verschiedener Vermittlungsinstanzen mit-

tels DiNet, unterstützt das System, neben der lokationsbasierten RAUM-Kommunikation auch identifikationsbasierte Kommunikation, wie sie zum Beispiel von IP-Vermittlungsinstanzen verwendet wird, oder dienstbasierte Kommunikation, wie sie von Vermittlungsinstanzen des Jini-Systems benutzt wird.

Die Vermittlungsschicht des RAUM-Protokolls wurde extra für die Anforderungen lokationsbasierter Kommunikation entwickelt. Durch die gezielte Definition von RÄUMen ist es möglich, das lokationsbezogene Kommunikationsverhalten der Teilnehmer im System sehr exakt zu bestimmen. Die Möglichkeiten, die das RAUM-System in dieser Beziehung bietet, übersteigen die der anderen in dieser Arbeit untersuchten Systeme bei weitem. Das RAUM-System macht lokationsbasierte Kommunikation gut handhabbar und flexibel zu konfigurieren. Aus diesen Gründen kann die Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation im RAUM-System als „sehr gut“ bewertet werden.

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Kapitel wurde zuerst der Versuchsaufbau des RAUM-Systems am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe vorgestellt. Dazu wurde die am Institut vorhandene Infrastruktur in die eingesetzten Artefakte des RAUM-Systems beschrieben. Im zweiten Teil des Kapitels wurde das System nach den in Abschnitt 3.1 erarbeiteten Gesichtspunkten evaluiert.

Anzahl der unterstützten Geräte	32 Bit lange Adressen
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	durch Festlegung der Ausdehnung und des Kommunikationstyps der RÄUME
Unterstützung mobiler Teilnehmer	Integration verschiedener drahtloser Übertragungsmedien
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	vorhanden
Energiebedarf der Grundkommunikation	gering
Modularität des Systems	hohe Modularität
Komplexität der Grundfunktionen	kann durch die hohe Modularität variabel gehalten werden
Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation	sehr gut

Tabelle 6.2 – Bewertung des RAUM-Systems

Wie in anderen Forschungseinrichtungen, die sich mit Ubiquitous Computing beschäftigen, wurde zur Evaluierung des RAUM-Systems die Methodik des „lebenden Labors“ (Living Lab) [Abowed et al., 2000] eingesetzt. Dieser empirische Ansatz zur Evaluierung von Erkenntnissen im Bereich Ubiquitous Computing findet als Forschungsmethodik dort Anwendung, wo keine formalen Methoden zur Verfügung stehen oder sinnvoll sind [Beigl, 2001].

Tabelle 6.2 faßt die Bewertung des RAUM-Systems zusammen. Einen Überblick über die Bewertung des RAUM-Systems im Vergleich zu den anderen in dieser Arbeit untersuchten Kommunikationssystemen für Ubiquitous Computing Umgebungen gibt Tabelle 6.3.

	Mobile IP	Geocast	Mobile Ad Hoc Netzwerke	RAUM-System
Anzahl der unterstützten Geräte	+	+	+	+
Konfiguration des Kommunikationsbereichs	-	-	=	++
Unterstützung mobiler Teilnehmer	=	+	++	++
Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises	+	+	+	=
Energiebedarf der Grundkommunikation	--	--	+	+
Modularität des Systems	--	--	+	++
Komplexität der Grundfunktionen	--	--	+	+
Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation	-	=	+	++

Tabelle 6.3 – Vergleich aller untersuchten Kommunikationssysteme

Es zeigt sich, daß das RAUM-System die in dieser Arbeit identifizierten Anforderungen an Kommunikationssysteme für Ubicomp Umgebungen insgesamt deutlich besser erfüllen kann als andere Systeme.

Lediglich im Bereich der Unterstützung eines dynamischen Teilnehmerkreises schneiden Mobile IP, Geocast und die mobilen Ad Hoc Netzwerke besser als das RAUM-System ab. Dies liegt vor allem am Fehlen einer Instanz zur dynamischen Verwaltung der an der Kommunikation beteiligten Artefakte im RAUM-System.

Bei der Integration einer derartigen Verwaltungsinstanz in einer späteren Version des RAUM-Protokolls ist allerdings zu beachten, daß die Unterstützung von Artefakten, bei denen eine dynamische Konfiguration nicht möglich ist, nicht verloren geht. Zu dieser Klasse von Artefakten gehören alle Objekte, die wie zum Beispiel die MediaCup nicht über eine Empfangseinrichtung verfügen. Für derartige Artefakte müßten dann eventuell feste Adressbereiche reserviert werden.

Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit abschließend zusammengefaßt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde in den Forschungsbereich des Ubiquitous Computing eingeführt und die Möglichkeiten zur Nutzung von Kontextinformationen zur Unterstützung der Kommunikation beschrieben. Es wurden verschiedene Kommunikationssysteme auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen untersucht. Eines dieser Systeme, das RAUM-System, wurde implementiert und im realen Einsatz mit der Methodik des „Living Lab“ untersucht.

7.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Identifizierung und Evaluierung eines Kommunikationssystems, das den Ansprüchen moderner Ubiquitous Computing Umgebungen gerecht wird. Die Grundlage der Untersuchung verschiedener Kommunikationssysteme bildete die Betrachtung der Verwendung von Kontextinformationen in Ubicomp Umgebungen und die Überlegung, welche Kontexte zur Unterstützung der Kommunikation in derartigen Systemen dienen können.

Als besonders geeignet zur Unterstützung der Kommunikation wurde der Kontext der Lokation und Co-Lokation in Kommunikationsbereichen identifiziert. Durch die Verwendung dieser Kontextinformation können die Kommunikationsabläufe und Kommunikationsbeziehungen in Ubiquitous Computing Umgebungen für den Benutzer besser nachvollziehbar und verständlich gemacht werden. Der Vorteil für den Benutzer liegt hierbei in einer einfacheren und intuitiveren Benutzbarkeit der Systeme.

Zur Bewertung der Tauglichkeit verschiedener Kommunikationssysteme für den Einsatz in Ubicomp Umgebungen wurden allgemeine Anforderungen formuliert. Diese bildeten die Grundlage für die theoretischen Betrachtungen dieser Arbeit. Untersucht wurden sowohl Kommunikationssysteme, die speziell für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen entwickelt wurden, als auch solche, die ursprünglich für den Einsatz in klassischen Computersystemen konzipiert wurden.

Im Mittelpunkt des praktischen Teils dieser Arbeit stand das RAUM-System. Dieses System zur Kommunikation in interaktiven Räumen wurde von Michael Beigl in [Beigl, 2001] vorgestellt. Das RAUM-System wurde um Techniken zur diversifizierten Kommunikation erweitert. Dadurch entstand die Möglichkeit, verschiedene Vermittlungsprotokolle parallel innerhalb dieses einheitlichen Kommunikationssystems zu nutzen.

Ausführlich beschrieben wurden die im RAUM-System eingesetzten Techniken, die eine lokationsbasierte Kommunikation in Ubiquitous Computing Systemen erlauben. Darunter waren das Lokationssystem und der dem Lokationssystem zugrunde liegende Lokationsbaum, die RÄUME, die konfigurierbare Kommunikationsbereiche darstellen und das in dieser Arbeit entwickelte Routingverfahren für Datenpakete im RAUM-System.

Den Hauptteil der praktischen Arbeit bildete die Implementierung eines Referenz-Stacks für das RAUM-System, der unter anderem zur Evaluierung des RAUM-Systems

im praktischen Einsatz in der Versuchsanstaltung am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe eingesetzt wurde. Auf Basis dieses Referenz-Stacks wurden Artefakte und Router für das RAUM-System implementiert und im Einsatz untersucht.

Der letzte Teil dieser Arbeit umfaßte die Beschreibung des Versuchsaufbaus am Institut und die Evaluierung des RAUM-Systems. Grundlage der Evaluierung waren die erarbeiteten Anforderungen und wünschenswerten Eigenschaften von Kommunikationssystemen für Ubicomp Umgebungen. Die Ergebnisse und Erkenntnisse zur Evaluierung wurden mit der Methodik des „Living Lab“ gewonnen.

Ein Ziel der Arbeit war es, ein praxistaugliches Kommunikationssystem für den Einsatz in Ubiquitous Computing Umgebungen zu identifizieren und zu testen. Dies ist mit dem RAUM-System gelungen, das nicht nur theoretisch untersucht und praktisch implementiert werden konnte, sondern auch um wichtige Funktionen zu Erhöhung der Flexibilität und Vermittlung von Datenpaketen erweitert werden konnte.

7.2 Ausblick

Das RAUM-System stellt eine völlig neue Entwicklung im Bereich der Kommunikation von Computersystemen dar. Es ist das erste Kommunikationssystem, das sich Kontextinformation zu Nutze macht, um Kommunikationsbeziehungen zu organisieren und zu verwalten. Wie diese Arbeit gezeigt hat, ist das System grundsätzlich geeignet, die Kommunikationsinfrastruktur für zukünftige Ubiquitous Computing Umgebungen zu bilden. Allerdings kann die Leistung des Systems in bestimmten Bereichen durch weitere Entwicklungen, Erweiterungen und Forschungen noch verbessert werden.

Weiterentwicklungen können zum Beispiel die in dieser Arbeit nicht behandelte Ereignisschicht (ISO/OSI Schichten 4-6) berücksichtigen. Bei der Umsetzung der im RAUM-System spezifizierten Dienste dieser Schicht stellt der Energieverbrauch ein wichtiges Problem dar, da ein großer Teil der Energie eines derartigen Geräts durch die Kommunikation verbraucht wird [Imielinski & Badrinath, 1994].

Die Verfahren zur Bestimmung der Lokation von Artefakten im RAUM-System können weiter verbessert werden. Dies schließt eventuell die Integration verschiedener Verfahren zur Lokationsbestimmung innerhalb sowie außerhalb geschlossener Gebäude ein. Verfahren dieser Art wurden in dieser Arbeit vorgestellt, jedoch nicht in das RAUM-System integriert.

Auch das in dieser Arbeit entwickelte Routingverfahren bietet ein weites Feld für Optimierungen und Erweiterungen. Das vorgestellte Verfahren kann lediglich als eine erste Studie bei der Entwicklung von leistungsfähigen Routingalgorithmen für die Vermittlung von Daten im RAUM-System dienen.

Zukünftige Optimierungen des RAUM-Systems sollten die dynamische Konfiguration von Artefakten einschließen, da in dieser Arbeit Defizite des RAUM-Systems in diesem Bereich identifiziert wurden. Dabei ist allerdings zu beachten, daß eine Erweiterung des Systems um derartige Funktionen, die Vorteile des RAUM-Systems im Vergleich zu anderen Kommunikationssystemen nicht zunichte macht. Vor allem muß die

Unterstützung des Systems für die Kommunikation von Kleinstgeräten und Minimal-Artefakten erhalten bleiben, da die Unterstützung lokationsbasierter Kommunikation auch derartiger Geräte eine der herausragenden Eigenschaften des RAUM-Systems darstellt.

Literatur

- [Abowd et al., 2000]** Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Aaron F. Bobick, Irfan A. Essa, Blair MacIntyre, Elizabeth D. Mynatt, Thad E. Starner. Living Laboratories: The Future Computing Environments Group at the Georgia Institute of Technology. In the *Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, The Hague, Netherlands, 1.- 6. April 2000.
- [Addlesee et al., 2001]** Mike Addlesee, Rupert Curwen, Steve Hodges, Joe Newman, Pete Stegges, Andy Ward, Andy Hopper. Implementing a Sentient Computing System. *IEEE Computer Magazine*, Vol. 34, No. 8, August 2001, pp. 50-56.
- [Beck, 2001]** Beck IPC GmbH. *Bech IPC@Chip - Home*. <http://www.blc-online.de>, Dezember 2001.
- [Beigl, 1999]** Michael Beigl. Using spatial Co-location for Coordination in Ubiquitous Computing Environments. *1th International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC99)*, Karlsruhe, Germany, 1999 und *Lecture notes in computer science*, Vol 1707, ISBN 3-540-66550-1; H.-W. Gellersen (eds.), Springer, 1999, Seite 259-273.
- [Beigl, 2001]** Michael Beigl. *Kommunikation in interaktiven Räumen*. Dissertation am Institut für Telematik. Universität Karlsruhe, 2001.
- [Beigl et al., 2000]** Michael Beigl, Hans-Werner Gellersen, Albrecht Schmidt. MediaCups: Experience with Design and Use of Computer-Augmented Everyday Objects, Computer Networks, Special Issue on Pervasive Computing, Elsevier, 2000
- [Bennett et al., 1997]** F. Bennett, D. Clarke, J. B. Evans, A. Hopper, A. Jones, D. Leask. Piconet – Embedded Mobile Networking. *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, October 1997.
- [Brooks, 1991]** R.A. Brooks. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47, 1991, Seite 139-159.
- [CAN, 2001]** CAN in Automation. *CAN 2.0 Part A + B*. <http://can-cia.de>, 2001.

- [Cong et al., 1996]** D. Cong, M. Hamlen, C. E. Perkins. *The Definitions of Managed Objects for IP Mobility Support using SMIv2*. RFC 2006, <http://rfc.net/rfc2006.html>, October 1996.
- [Dana, 2000]** Peter H. Dana. *Global Positioning System Overview*. http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html, Mai 2000.
- [Deering & Hinden, 1995]** S. Deering, R. Hinden. *Internet Protocol, Version 6 (Ipv6) Specification*. RFC 1883, <http://rfc.net/rfc1883.html>, December 1995.
- [Deering, 1991]** S. Deering. *ICMP Router Discovery Messages*. RFC 1256, <http://rfc.net/rfc1541.html>, September 1991.
- [Droms, 1993]** Ralph Droms. *Dynamic Host Configuration Protocol*. RFC 1541, <http://rfc.net/rfc1541.html>, October 1993.
- [Gellersen et al., 1999]** Hans-Werner Gellersen, Michael Beigl, Holger Krull: The MediaCup: Awareness Technology embedded in an Everyday Object. *1th International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC99)*, Karlsruhe, Germany, 1999 und lecture notes in computer science; Vol 1707, H-W Gellersen ed, ISBN 3-540-66550-1; Springer, 1999, Seite 308-310.
- [Girling et al., 2000a]** G. Girling, J. Li Kam Wa, P. Osborn, R. Stefanova. The Design and Implementation of a Low Power Ad Hoc Protocol Stack. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, September 2000.
- [Girling et al., 2000b]** G. Girling, J. Li Kam Wa, P. Osborn, R. Stefanova. The PEN Low Power Protocol Stack. *9th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks*, October 2000.
- [Harter et al., 1999]** Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Ward, Paul Webster. The Anatomy of a Context-Aware Application. *Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'99*, Seattle, Washington, USA, August 1999, pp. 59-68.
- [Hinden & Deering, 1995]** R. Hinden, S. Deering. IP Version 6 Addressing Architecture. RFC 1884, <http://rfc.net/rfc1884.html>, December 1995.
- [Hupfeld & Beigl, 2000]** Felix Hupfeld, Michael Beigl. Spatially aware local communication in the RAUM system. *Proceedings of the IDMS*, Enschede, Niederlande, 2000.

- [IEEE, 2000]** The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 802.11b-1999: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, ISBN 0-7381-1811-7, 2000.
- [Imielinski & Badrinath, 1994]** T. Imielinski, B. Badrinath. Mobile Wireless Computing. *Communications of the ACM*, 37, 1994, Seite 18-28.
- [Imielinski & Navas, 1996a]** Tomasz Imielinski, Julio C. Navas. *GPS-Based Addressing and Routing* Computer Science Department Rutgers University, March 1996.
- [Imielinski & Navas, 1996b]** Tomasz Imielinski, Julio C. Navas. *Geographic Addressing, Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System*. Computer Science Department Rutgers University, October 1996.
- [Imielinski & Navas, 1996c]** Tomasz Imielinski, Julio C. Navas. *GPS-Based Addressing and Routing* RFC 2009, <http://rfc.net/rfc2009.html>, November 1996.
- [IrDA, 2001]** Infrared Data Association. <http://www.irda.org>, 2001
- [Kahn et al., 1999]** J.M. Kahn, R.H. Katz, K.S.J. Pister. Next century challenges: Mobile Networking for Smart Dust. In *Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobilecomputing and networking*, Seite 271–278, 1999.
- [Kahn et al., 2000]** J.M. Kahn, R.H. Katz, K.S.J. Pister. *Emerging Challenges: Mobile Networking for "Smart Dust"*. Computer Sciences, University of California, Berkeley, 2000.
- [Kirsh, 1995a]** David Kirsh. The intelligent use of space. *Artificial Intelligence* 73(1-2), 1995, Seite 31-68.
- [Kirsh, 1995b]** Kirsh D. Complementary Strategies: Why we use our hands when we think. In *Proceedings of the Seventeenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1995.
- [Kirsh, 1996]** D. Kirsh. Adapting the Environment Instead of Oneself. *Adaptive Behavior*, 4 (3-4), 1996, Seite 415-452.
- [Kirsh & Maglio, 1994]** D. Kirsh, P. Maglio. On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive Science*, 18, 1994, Seite 513-549.

- [Ko & Vaidya, 1998]** Young-Bae Ko, Nitin H. Vaidya. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. In ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking MobiCom'98, October 1998, Seite 66-75.
- [Krüger, 1999]** G. Krüger: Skript Vorlesung Telematik I, Universität Karlsruhe, 1999
- [Navas & Imielinski, 1997]** Julio C. Navas, Tomasz Imielinski. *GeoCast - Geographic Addressing and Routing*. Computer Science Department Rutgers University, 1997.
- [Nisanka et al., 2000]** Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, The Cricket Location-Support System. *Proc. 6th ACM MOBICOM*, Boston, MA, August 2000.
- [Nisanka et al., 2001]** Nissanka B. Priyantha, Allen Miu, Hari Balakrishnan, Seth Teller. The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications. *Proc. 7th ACM MOBICOM*, Rome, Italy, July 2001.
- [Norman, 1998]** Don A. Norman. *The Invisible Computer*. MIT Press, 1998.
- [Perkins, 1996a]** Charles E. Perkins. *IPv4 Mobility Support*. RFC 2002, <http://rfc.net/rfc2002.html>, October 1996.
- [Perkins, 1996b]** Charles E. Perkins. *IP Encapsulation within IP*. RFC 2003, <http://rfc.net/rfc2003.html>, October 1996.
- [Perkins, 1996c]** Charles E. Perkins. *Minimal Encapsulation within IP*. RFC 2004, <http://rfc.net/rfc2004.html>, October 1996.
- [Perkins, 1997]** Charles E. Perkins. Mobil IP. *Proceedings of International Telecommunication Symposium*, 1997.
- [Perkins & Johnson, 1996]** C. E. Perkins, D. B. Johnson. Mobility Support in Ipv6. *In AMC Mobicom 96*, November 1996.
- [Philips, 2000]** Philips Semiconductors. The I²C-bus specification. http://www.6502.org/mini-projects/dpod/dpodfiles/I2C_BUS_SPECIFICATION_3.pdf, 2000.
- [Pister et al., 1998]** K. S. J. Pister, J. M. Kahn, B. E. Boser. *Smart dust: Wireless networks of millimeter-scale sensor nodes*. University of California Berkeley, 1998.
- [Postel, 1981]** J. B. Postel. *Internet Protocol*. RFC 791, <http://rfc.net/rfc2005.html>, September 1981.

- [Ringwald, 2000]** Matthias Ringwald. Smart DoorPlate: Eine Beispielanwendung für das RAUM-System, *Studienarbeit am Institut für Telematik*, Universität Karlsruhe, 2000
- [Scheifler et al., 1988]** R. Scheifler, J. Gettys, R. Newman. X Window System. *Digital Press*, 1988
- [Schmidt et al., 1998]** Albrecht Schmidt, Michael Beigl, Hans-Werner Gellersen. There is more to context than location. *Proceedings of the International Workshop on Interactive Applications of Mobile Computing (IMC)*, Rostock, Germany, November 1998.
- [Schmidt et al., 1999]** Albrecht Schmidt, Kofi Asante Adoo, Antti Takaluoma, Urop Tuomela, Kristof Van Laerhoven, Walter Van de Velde. Advanced Interaction in Context. *1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC99)*, Karlsruhe, Germany, 1999.
- [Solomon, 1996]** J. Solomon. *Applicability Statement for IP Mobility Support*. RFC 2005, <http://rfc.net/rfc2005.html>, October 1996.
- [Tanenbaum, 1996]** Andrew S. Tanenbaum. *Computer Networks*, Prentice Hall, New Jersey, ISBN 0-13-394248, 1996.
- [Venners, 1999]** Bill Venners. The Jini, Vision. In *JavaWorld Magazin*, August 1999.
- [Want et al, 1995]** Roy Want, Bill N. Schilit, Norman I. Adams, Rich Gold, Karin Petersen, David Goldberg, John R Ellis, Mark Weiser. An overview of the PARCTAB Ubiquitous Computing experiment. *IEEE Personal Communications*, 2(6), 1995, Seite 28-43.
- [Want et al, 1996]** Roy Want, Bill N. Schilit, Norman I. Adams, Rich Gold, Karin Petersen, David Goldberg, John R Ellis, Mark Weiser. The PARCTAB Ubiquitous Computing Experiment in Mobile Computing H. F. Korth and T. Imielinski, (eds.), *Kluwer Academic Press*, 1996
- [Want et al., 1992]** R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons. The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1), 1992, Seite 91-102.
- [Weiser, 1991]** Mark Weiser. The Computer for the 21th Century. *Scientific American*, 9, September 1991, Seite 66-75.
- [Weiser, 1993]** Mark Weiser. Some Computer Science Issues in Ubicomp. In *Communications of the ACM*, 36 (7), Juli 1993, Seite 25-26.

[Weiser, 1994]

Mark Weiser. The World is not a desktop. Interactions, Januar 1994, Seite 7-8.

[Weiser, 1996]

Mark Weiser. *Ubiquitous Computing*
<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>,
1996.

[Zimmer, 1999]

Tobias Zimmer. Virtuelle private Netze – Weltweite LANs.
In *Netzwerk-Management und Hochleistungs-Kommunikation Teil XIX*,
interner Bericht der Universität Karlsruhe, ISSN 1432-7864,
Seite 85-97, April 1999.