



DLR Schlussbericht e-Triage

Förderkennzeichen 13N10542



Projekt- und Dokumentinformationen

Projektinformationen	
Verbundprojekt	Elektronische Betroffenenenerfassung in Katastrophenfällen "e-Triage"
Teilvorhaben	Synchronisation von verteilten Datenbanken über Satelliten- und terrestrische Netze
Auftraggeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Projektträger	VDI Technologiezentrum GmbH
Förderkennzeichen	13N10542
DLR-Kostenträger	3000262
Projektlaufzeit	1. Juni 2009 bis 31. Mai 2012 (36 Monate)
Projektkoordinator	Anton Donner, DLR
Projektpartner	DLR, Institut für Kommunikation und Navigation, Oberpfaffen- hofen Euro-DMS Ltd, Olching Ludwig-Maximilians-Universität München TriaGnoSys GmbH, Weßling

Dokumentinformationen	
Editor	Anton Donner
Sicherheit	öffentlich
Version	1.0

Freigabe

Aktion	Name/Unterschrift	Organisation	Datum
Erstellt von	A. Donner, S. Erl	DLR	18.07.2012
Geprüft von	A. Donner	DLR	18.07.2012
Produktsicherung	B. Steude	DLR	18.07.2012
Freigegeben von	S. Scalise	DLR	18.07.2012

Autoren

Name	Organisation	Kontakt
Anton Donner	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	E-Mail: anton.donner@dlr.de Telefon: +49 8153 28 2883 Fax: +49 8153 28 1442
Stefan Erl	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	E-Mail: stefan.erl@dlr.de Telefon: +49 8153 28 3367 Fax: +49 8153 28 2844

Änderungsnachweis

Version	Datum	Name	Änderungen
0.1	1.6.2012	A. Donner	Erste Version
1.0	18.7.2012	A. Donner	Letzte Änderungen und Freigabe

Vorbemerkung und Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N10542 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Dieser Schlussbericht beschreibt die Arbeiten im Teilvorhaben "Synchronisation von verteilten Datenbanken über Satelliten- und terrestrische Netze" und ist nicht als abschließender Bericht für die Ergebnisse des gesamten Verbunds zu verstehen.

An dieser Stelle möchten wir uns bei unseren Verbundpartnern Euro-DMS Ltd, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) und TriaGnoSys GmbH, unseren Fachberatern, dem Bayerischen Roten Kreuz Kreisverband Starnberg und dem Landratsamt Starnberg ganz herzlich für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Bei der ersten Erprobung im Januar 2011 waren viele Helfer beteiligt: Die haupt- und ehrenamtlichen Helfer vom BRK Starnberg, die Teams für Realistische Unfalldarstellung Wasserwacht Pilsensee und Jugendrotkreuz Landsberg, die Kreisbrandinspektion Starnberg und das Landratsamt Starnberg als Hausherr. Für die Unterstützung bei den Cortisolmessungen danken wir dem Endokrinologischen Labor des Klinikums der Universität München, Medizinische Klinik und Poliklinik IV.

Ferner danken wir dem Ruethenfestverein e.V., dem Bayerischen Roten Kreuz Kreisverband Landsberg und der Kreisbereitschaft Ingolstadt, dem Kreisfeuerwehrverband Landsberg, der Stadt Landsberg, dem Agrarbildungszentrum Landsberg und dem Heilig-Geist-Spital der Stadt Landsberg für die freundliche und tatkräftige Unterstützung bei der Erprobung in Landsberg am Lech.

Auch wenn die abschließende Erprobung letztendlich nicht wie geplant stattfinden konnte, so waren an den Vorbereitungen viele Organisationen mit vielen ehrenamtlich geleisteten Arbeitsstunden beteiligt: das Bayerische Rote Kreuz Kreisverband Starnberg mit seinen ehrenamtlichen Rotkreuz-Gemeinschaften der Bereitschaft und Wasserwacht (insbesondere die Wasserwacht Pilsensee - Realistische Unfalldarstellung), die Kreisbrandinspektion Starnberg, die Freiwilligen Feuerwehren des Landkreises Starnberg, die Integrierte Leitstelle Fürstenfeldbruck, das Technische Hilfswerk des Ortsverbandes Starnberg, die DLRG Pöcking-Starnberg, die Schülerinnen und Schüler der Realschule Herrsching (Verletztendarsteller), die Polizeiinspektionen Starnberg und Herrsching, die S-Bahn München und die DB-Netz AG, die Notärzte und Organisatorischen Leiter im Landkreis Starnberg, die Staatliche Feuerweherschule Geretsried, das Kreisverbindungskommando

(Bundeswehr) Starnberg, das Landratsamt Starnberg mit der Führungsgruppe Katastrophenschutz, die Realschule Herrsching, die Fachhochschule für öffentliche Verwaltung und Rechtspflege in Bayern Fachbereich Finanzwesen in Herrsching, die Gemeinde Herrsching und die Firmen Bofrost und Auto Feyrer.

Unsere letzte Erprobung in 2012 wurde vom Bayerischen Roten Kreuz Weilheim-Schongau und vom Bayerischen Roten Kreuz Starnberg tatkräftig unterstützt.

Ebenfalls möchten wir den Kolleginnen und Kollegen unserer Schwesterprojekte A.L.A.R.M. und SOGRO für die Diskussionen, den regen Informationsaustausch, und die Einladungen zu ihren Erprobungen in Berlin und Frankfurt danken.

Unser Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH hat uns über die vergangenen drei Jahre überaus kompetent und hilfreich begleitet. Besonders erwähnen möchten wir die vielen hervorragend organisierten Veranstaltungen, in deren Verlauf wir viele Kontakte zu Interessenvertretern aus allen Bereichen von Rettungsdienst, Feuerwehr und Zivilschutz knüpfen konnten.

Sollten wir bei dieser Aufzählung eine Organisation übersehen haben, so bitten wir um Nachsicht. Wir hatten in den letzten Jahren mit so vielen hilfsbereiten haupt- und ehrenamtlichen Einsatzkräften zu tun, dass es nicht immer leicht war, den Überblick zu behalten. Ihnen allen gilt ein herzliches Dankeschön!

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung	13
1.1	Aufgabenstellung	13
1.2	Voraussetzungen	14
1.2.1	(Vor-)Sichtung und Patientenregistrierung	14
1.2.2	Überlegungen zur Datenübertragung	15
1.2.3	Zeitliche Entwicklungsdimension	16
1.2.4	Funkzellengröße	16
1.2.5	Vermaschung	16
1.2.6	Übergang ins Internet	16
1.2.7	Öffentliche und private IP-Netze	17
1.2.8	Datenhaltung	17
1.2.9	Verteilte Datenbanksysteme	18
1.3	Planung und Ablauf	18
1.3.1	E0 Atemschutzübungsstrecke Starnberg	20
1.3.2	E1 Notarzteinsatzprotokoll	20
1.3.3	E2 Ruethenfest Landsberg	20
1.3.4	E3 MANV-Übung	21
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	22
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	24
1.5.1	Verbundpartner	24
1.5.2	Unterauftragnehmer und Anwender	25
2	Eingehende Darstellung	26
2.1	Ausführlicher Ergebnisbericht	26
2.1.1	Dynamische Topologien	27
2.1.2	Skalierbarkeit des Replikationssystems	31
2.1.3	Simulation, Emulation und funktionale Verifizierung	33
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	35
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	36
2.4	Voraussichtlicher Nutzen	36
2.4.1	Wissenschaftlicher Nutzen	36

2.4.2	Wirtschaftlicher Nutzen	36
2.5	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt	37
2.6	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	37
2.6.1	Erfolgte Veröffentlichungen	37
2.6.2	Präsentationen und Messen	39
2.6.3	Diplom- und Masterarbeiten	40
2.6.4	Geplante Veröffentlichungen	40
	Abkürzungsverzeichnis	41
	Literaturverzeichnis	43

Abbildungsverzeichnis

1.1	Zeitablauf-Diagramm des e-Triage Projekts.	19
1.2	Architekturskizze Erprobung E2 am 23./24. Juli 2011 in Landsberg am Lech.	21
1.3	Architekturskizze Erprobung E3 am 30. März 2012 in Weßling.	23
2.1	Aufteilung des Datenbankverbundes in Kernnetz und Zugangsnetze.	28
2.2	Ablaufdiagramm des Entscheidungsalgorithmus zur Auswahl der Synchronisationsmethoden. Idee geschützt durch Patent [TMD11].	30
2.3	Funktionsweise des Duplikators. Idee geschützt durch Patent [Erl+11].	33
2.4	Emulationsumgebung mit realen Erfassungsgeräten (Tablet-PCs).	34
2.5	Typisches Emulations-Szenario mit Common Open Research Emulator (CORE).	34

Tabellenverzeichnis

2.1	Bewilligte Positionen laut Zuwendungsbescheid vom 16.06.2009 und tatsächliche Ausgaben (vorläufige Berechnung).	35
-----	---	----

Kapitel 1

Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Im Vorhaben "e-Triage" wurde ein elektronisches Erfassungssystem für Betroffene eines Massenanfalls von Verletzten und Erkrankten (MANVs) [Deu09] konzipiert und umgesetzt. Im Einzelnen wurde ein Demonstratorsystem aus folgenden Systemkomponenten erstellt:

- Tablet-PCs mit Anwendungssoftware für die Betroffenenenerfassung;
- Ein satellitengestütztes Kommunikationssystem mit Global System for Mobile Communications (GSM) und Wireless Local Area Network (WLAN) Funkzellen;
- Ein verteiltes, selbst-synchronisierendes Datenbanksystem für die redundante dezentrale Datenhaltung.

Diese Komponenten wurden in einem Gesamtsystem integriert und in realitätsnahen Feldversuchen mit Anwenderbeteiligung demonstriert. Des Weiteren wurden psychologische Fragestellungen (Akzeptanz von Technik, Ergonomie der Hardware, Stress, kognitive Einschränkungen in extremen Belastungssituationen usw.) vom Department Psychologie der LMU München untersucht. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Kommunikation und Navigation, war im Projekt für das verteilte Datenbanksystem und die Datenübertragung über heterogene Netze (Satellit und terrestrisch), sowie für Fragen des Ressourcenmanagements zuständig.

Prinzipiell können die Anforderungen an ein elektronisches Betroffenenenerfassungssystem mit den Anforderungen an ein Warenwirtschaftssystem verglichen werden: Einer Einsatzleitung soll es möglich sein dafür zu sorgen, dass die richtige (verletzte) Person zum richtigen Zeitpunkt an den richtigen Ort gebracht werden kann. Allerdings werden elektronische Warenwirtschaftssysteme in definierten Umgebungen betrieben, wohingegen Betroffenenenerfassung im nicht geplanten bzw. planbaren Einsatzgeschehen funktionieren muss.

Größere Lagen sind fast immer als zeitlich und örtlich verteilte Einsatzgeschehen zu betrachten. Einsatzkräfte treffen zeitversetzt ein, verschiedene Aufgaben werden von den jeweiligen Fach-

diensten nach und nach wahrgenommen, organisatorische Strukturen werden eingerichtet, und die Lage kann bedingt durch das eigentliche Ausmaß oder geographisch verteilte Einsatzabschnitte eine entsprechende räumliche Dimension haben.

Auch wenn die über die Betroffenen erhobenen Basisdaten (eindeutige ID, Sichtungskategorie usw.) bei einem MANV den Einsatz- und Abschnittsleitungen zentral zur Verfügung stehen sollen, so erscheint eine zentralisierte Datenhaltung zum einen aufgrund von Verfügbarkeits-/Ausfallsicherheitsüberlegungen und zum anderen wegen der inhärenten Dynamik des Einsatzes und der möglicherweise weiträumigen Ausdehnung nicht zweckmäßig. Hinzu kommt, dass drahtlose Kommunikationstechnologien im Freien zwar im Normalfall genügende Reichweite haben, die sich aber in ungünstigen Umgebungen (Gebäude, Tunnel u.a.) stark verringern kann.

Nahe liegender Schluss ist daher die Verwendung eines verteilten Datenbanksystems, das aus mehreren sich automatisch selbst synchronisierenden Instanzen besteht. Die einzelnen Instanzen werden sowohl auf den mobilen Erfassungsgeräten installiert, als auch auf Rechnern, die an den Kommunikationsknoten (z.B. WLAN Accesspoints am Einsatzleitwagen) angeschlossen sind. Zusätzliche Instanzen des Datenbanksystems befinden sich auf dedizierten Servern in Rechenzentren im Internet, die über ein Webinterface von Krankenhäusern und Leitstellen abgefragt werden können. Ein grundsätzlicher Designaspekt ist, dass Netzverbindungen zwischen Datenbankinstanzen jederzeit unterbrochen werden können.

Der Einsatz eines derartigen Datenbanksystems kann die die Lagebeurteilung und Einsatzleitung speziell bei Großschadensereignissen mit einer großen Anzahl von Betroffenen deutlich verbessern. Zum einen werden Daten über Betroffene mit dem Auffinden erfasst und gesammelt bzw. über alle Stationen der Versorgungskette aktualisiert, zum anderen stehen die gesammelten Daten beinahe in Echtzeit allen Ebenen der Führungshierarchie der Einsatzkräfte zur Verfügung.

Maßstab für das Design des Datenbanksystems waren die besonderen Herausforderungen am Einsatzort. Die verfügbaren Übertragungskapazitäten der Kommunikationsnetze der Rettungskräfte können möglicherweise schmalbandig oder stark belastet sein. Unter Umständen besteht keine Verbindung zum Internet. Verbindungen zwischen mobilen Erfassungsgeräten und Basisstationen können unterbrochen werden bzw. müssen die (Re-)Synchronisierung der Mobilgeräte automatisch erfolgen. Nicht zuletzt soll die Synchronisierung der Daten zwischen allen Datenbankinstanzen so ressourcenschonend wie möglich erfolgen, um die benötigte Bandbreite auf ein Minimum zu reduzieren.

1.2 Voraussetzungen

1.2.1 (Vor-)Sichtung und Patientenregistrierung

Die wesentlichen Anforderungen für die erfolgreiche Bewältigung eines MANV sind in Referenz [Grä07] zu finden. Allerdings sind in Deutschland erhebliche Unterschiede bei den Vorgehenswei-

sen zu beobachten. Während insbesondere an den Austragungsorten der FIFA Fußball-Weltmeisterschaft 2006 die algorithmusbasierte Vorsichtung durch geschulte Rettungsassistenten zu beobachten ist, werden in anderen Gegenden teilweise völlig andere Verfahren angewendet. Die verwendeten Vorsichtungs-Algorithmen sind – falls überhaupt angewendet – nicht bundesweit einheitlich. Ähnlich heterogen ist das Bild bei den Patientenanhängerkarten. Es gibt unzählige Varianten, die sich sowohl inhaltlich als auch bei den Nummerierungssystemen mehr oder weniger stark voneinander unterscheiden.

Im Großraum München setzt sich zunehmend die Vorsichtung nach mSTART¹ durch [Kan+06]. Im e-Triage Projekt wurde deshalb diese Vorgehensweise auf ein elektronisches System abgebildet. Die benötigten Datenfelder wurden aus dem Notarzteinsatzprotokoll ("DIVI-Protokoll") und aus der Patientenanhängerkarte des Deutschen Roten Kreuz (DRK) abgeleitet. Es muss allerdings klar festgestellt werden, dass diese Datenstruktur mangels eines anerkannten Standards proprietär und inkompatibel zu anderen Lösungen ist. Für die im Projekt durchzuführenden Arbeiten war das allerdings nicht hinderlich, da grundsätzliche Fragestellungen zur Datensynchronisierung behandelt wurden, die von den Nutzdaten völlig entkoppelt waren.

1.2.2 Überlegungen zur Datenübertragung

IT-Systeme erfordern generell adäquate Datenübertragungslösungen. Das im Aufbau befindliche BOSNET (TETRA) ist primär als hochverfügbares Sprachsystem ausgelegt und für die Datenübertragung aufgrund geringer Bandbreite nur bedingt geeignet. Zudem ist zu erwarten, dass nicht-polizeilichen Organisationen aus Sicherheits- und Ressourcengründen die Datenübertragung nicht gestattet wird. Kommerzieller Mobilfunk (Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), High Speed Packet Access (HSPA), Long-Term-Evolution (LTE)) ist und wird in Ballungsgebieten gut ausgebaut, aber es gibt de facto keine Vorrangschaltungen für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS).

Referenz [Mar+10] ist eine Studie, in der der zukünftige Spektrumsbedarf der BOS ermittelt wurde und Empfehlungen daraus abgeleitet wurden. Grundlage hierfür war die Annahme, dass die notwendigen Wireless Wide Area Network (WWAN) Systeme auf LTE beruhen.

Großveranstaltungen können sehr schnell jedes Mobilfunksystem überlasten, insbesondere wenn es zu einem außergewöhnlichen Ereignis kommt. Ferner sind Basisstationen eher selten mit unterbrechungsfreien Stromversorgungen ausgestattet. Einsatzkräfte sind daher gezwungen, eigene Kommunikationsinfrastrukturen vorzuhalten. Komponenten für drahtlose IP-Netze (WLAN) sind günstig in der Anschaffung und weit verbreitet, allerdings dürfen die aus dem privaten oder Arbeitsumfeld bekannten Ansätze nur mit entsprechender Umsicht auf die Gefahrenabwehr übertragen werden.

¹modifiziertes Simple Triage and Rapid Treatment

1.2.3 Zeitliche Entwicklungsdimension

Größere Einsatzlagen haben immer eine mehr oder weniger ausgeprägte inhärente zeitliche Entwicklungsdimension. Das bedeutet, dass sich Organisationsstrukturen aufgrund von Alarmierungszeiten und Anfahrtswegen über der Zeit bilden und deshalb Kommunikationsinfrastruktur (wie z.B. ein auf einem Einsatzleitwagen angebrachter WLAN-Router) nicht gleich von Anfang an verfügbar sein kann. Eingesetzte Mobilgeräte müssen in dieser Zeit trotzdem funktionieren und ihre Daten später selbstständig bei Verfügbarkeit eines Funksystems an die Einsatzleitung übertragen.

1.2.4 Funkzellengröße

Eine Einsatzstelle vollständig mit WLAN abdecken zu wollen ist völlig utopisch, da immer mit großer räumlicher Ausdehnung oder Abschattungen durch Bauwerke zu rechnen ist. Für BOS gibt es keine regulatorische Sonderbehandlung, weswegen die zugelassene effektive isotrope Strahlungsleistung nicht überschritten werden darf. Der normale Fall wird sein, dass an der Einsatzstelle lediglich wenige "WLAN-Inseln" vorhanden sind.

1.2.5 Vermaschung

Einsatzfahrzeuge für die Führungsunterstützung sind mittlerweile häufig mit WLAN- Routern ausgestattet, die über ein kommerzielles Mobilfunksystem mit dem Internet verbunden werden. Ein direkter Austausch von Daten vor Ort über die WLAN-Luftschnittstelle zwischen z.B. Abschnittsleitungen oder beteiligten Rettungsorganisationen erfolgt im Normalfall nicht. Die möglicherweise knappen Ressourcen von kommerziellen Mobilfunknetzen werden somit stärker als unbedingt notwendig belastet. Eine direkte Vermaschung von WLAN-Routern war bisher bestenfalls mit proprietären Lösungen zu erreichen. Seit Mai 2012 gibt es eine aktualisierte Fassung des IEEE 802.11 Standards [Ins12], mit dem eine herstellerübergreifende Kompatibilität möglich sein soll (vormals IEEE 802.11s, siehe [HT06]).

1.2.6 Übergang ins Internet

Wie oben beschrieben darf eine Anbindung an das Internet nicht als Selbstverständlichkeit betrachtet werden. Neben Mobilfunksystemen (oder sogar leitungsgebundener Konnektivität) sind Satellitenterminals eine mögliche Rückfallebene. Bei schlechter Witterung (Schneefall, Starkregen) sowie ungünstiger Topologie (direkte Sicht auf den Satelliten erforderlich) können diese Systeme nicht eingesetzt werden. Zudem muss die eingesetzte Software auf die langen Signallaufzeiten angepasst sein. In jedem Fall muss die Lauffähigkeit der Software autark ohne Internetanbindung gewährleistet sein, so dass die lokale Datenweitergabe am Einsatzort funktioniert. Clients müssen lokale Server (sinngemäß bei Peer-to-Peer Architekturen) finden können ("service discovery"),

ohne auf zentrale Dienste wie Namensauflösung (Domain Name System (DNS)) zurückgreifen zu müssen.

1.2.7 Öffentliche und private IP-Netze

Die Verwendung von privaten (d.h. im Internet nicht gerouteten) IP-Adressbereichen ist aufgrund von Sicherheitsüberlegungen und IPv4-Adressmangel gängige Praxis. Router mit network address translation (NAT) binden private Netze an das Internet an, so dass Clients im privaten Netz Zugriff auf Server im Internet bekommen. Vom Internet zugängliche Serverdienste im privaten Netz anzubieten gestaltet sich erheblich schwieriger, da die öffentliche IP-Adresse des Routers oftmals vom Provider dynamisch zugewiesen wird und deshalb nicht bekannt ist. Für diesen Anwendungsfall ist z.B. DynDNS notwendig. Zudem müssen im Router selbst passende Portweiterleitungen auf den eigentlichen Server konfiguriert sein. Auf das MANV-Einsatzgeschehen übertragen bedeutet dies, dass

- Serverdienste außerhalb eines privaten Netzes am Einsatzort (d.h. physikalischer Standort des Servers) nur schlecht anzubieten sind. Die Verwendung von DynDNS erfordert eine Verbindung zum Internet, die nicht unbedingt vorhanden ist.
- sich idealerweise alle Clients und Server am Einsatzort (bzw. Knoten einer Peer-to-Peer Architektur) im gleichen privaten IP-Adressbereich befinden.
- Service-Discovery-Protokolle (z.B. Simple Service Discovery Protocol (SSDP)) eine erwägenswerte Alternative zur Namensauflösung per DNS sind, da wegen der Verwendung von Broadcast-Messages keine zentrale Namensauflösungsinstanz benötigt wird.
- auch in vermaschten WLAN-Netzen Broadcast-Messages von Service-Discovery-Protokollen – soweit sinnvoll und notwendig – geroutet werden müssen.

Generell ist eine manuelle Konfiguration von Netzwerkkomponenten im Einsatzgeschehen kontraproduktiv und somit völlig indiskutabel.

1.2.8 Datenhaltung

Die große Herausforderung im Einsatzgeschehen ist, verteilt vorliegende Daten zu aggregieren und allen beteiligten Entscheidungsträgern zeitgleich vorzulegen (Sanduhr-Modell). In einfachen Fällen geschieht dies sprachlich per Funk: Durch die Gruppenruffunktion kann eine Einzelperson Informationen an viele weitergeben. Bei einem MANV werden gemäß gängiger Vorgehensweisen viele Patientenlisten auf Papier an vielen Stationen der Versorgungskette und bei vielen Entscheidungsträgern gepflegt, die sich nur unter großem Aufwand oder entsprechend langsam/fehlerbehaftet per Sprache abgleichen lassen.

1.2.9 Verteilte Datenbanksysteme

Ein verteiltes Datenbanksystem besteht aus mehreren physikalisch getrennten Datenbanken, die auf logischer Ebene verknüpft sind und zusammen arbeiten. Die Herausforderung besteht darin, die einzelnen Datenbanken miteinander über die vorhandenen Übertragungskanäle zu synchronisieren und so überall möglichst vollständige und aktualisierte Daten bereitzustellen. Die Konfiguration eines solchen Datenbanksystems erfolgt meist manuell und erfordert die genaue Kenntnis der teilnehmenden Datenbanken sowie technisches Know-How. Ähnlich wie bei den Netzwerkkomponenten ist eine manuelle Einrichtung der Synchronisierung im Einsatzgeschehen praktisch nicht durchführbar.

1.3 Planung und Ablauf

Das Zeitablauf-Diagramm (Gantt-Diagramm) des e-Triage Projekts ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Die Projektplanung war so angelegt, dass jederzeit neueste Erkenntnisse sowohl aus technischer Sicht als auch aus der psychologischen Begleitforschung einfließen konnten. Da Forscher, Programmierer, Nutzer und Psychologen während der gesamten Projektlaufzeit in engem Kontakt standen, konnten alle Änderungen kurzfristig mit in das System eingebracht werden. Tatsächlich wurde die interne Erprobung der einzelnen Teilkomponenten durch Endanwender (und die damit verbundene psychologische Begleitforschung) bereits wesentlich früher begonnen als die Erprobung des Gesamtsystems in AP 6.1.

Es gab einen Meilenstein (M1) nach 18 Monaten. Übergabepunkte (siehe Abbildung 1.1) waren:

Ü1.1 Anwenderbedürfnisse analysiert.

Ü2.1 Spezifikation Gesamtsystem liegt vor.

Ü3.1 Abschluss wissenschaftlicher Studien, die in Implementierung einfließen.

Ü6.1 System für Praxistest bereit.

Entsprechend der Planung waren die Teilkomponenten (Endgeräte, verteilte Datenbank, Kommunikationssystem) zum Meilenstein M1 soweit lauffähig, dass sie zu einem vorläufigen Gesamtsystem (AP 5.4) integriert werden konnten.

Für die Laufzeit des Projekts waren insgesamt vier Feldversuche (Erprobungen E0 bis E3) geplant, die neben der notwendigen funktionalen Verifikation für die psychologische Begleitforschung von besonderer Bedeutung waren. Zwischen den Erprobungen wurden die gewonnenen Erkenntnisse jeweils in Verbesserungen der Technik und Benutzungsoberflächen umgesetzt. Die folgenden Abschnitte gehen auf diese vier Erprobungen näher ein.

1.3.1 E0 Atemschutzübungsstrecke Starnberg

Erprobung E0 war laut Projektantrag ursprünglich als Übung auf dem Übungsgelände der Staatlichen Feuerweherschule Geretsried geplant. Der Termin in der Vorweihnachtszeit erwies sich als ungünstig, weswegen die Erprobung auf den 29.01.2012 verschoben wurde. Wegen der zu erwartenden kalten Witterung im Januar wurde die Erprobung schließlich in die Atemschutzübungsstrecke Starnberg verlegt.

Zielsetzungen dieser Sichtungübung waren:

- Aussagen zu Vorsichtungsalgorithmus (Bayerisches Rotes Kreuz (BRK) und LMU);
- Aussagen zu Stresswahrnehmung und Kognitionseinschränkungen (Lärm etc.) beim Umgang mit bzw. ohne Gerät (LMU);
- Aussagen zu Anwenderschnittstelle und Hardware (Technikpartner).

1.3.2 E1 Notarzteinsatzprotokoll

Die Erprobung eines elektronischen Notarzteinsatzprotokolls im Regelrettungsdienst wäre nur mit extremen Aufwand realisierbar gewesen. Der erforderliche Datenschutz bei medizinischen Studien mit Patientendaten und nicht zuletzt die Bestimmungen des Bayerischen Rettungsdienstgesetzes standen einem eher begrenzten Erkenntnisgewinn gegenüber. Deswegen sollte diese Erprobung im Rahmen einer "erweiterten" Feuerwehrübung mit Verletztendarstellern durchgeführt werden. Es war geplant bei dieser Gelegenheit die Web Services in einem realen Krankenhaus zu testen.

Als passende Übung wurde die Teilräumung eines Gebäudetrakts der Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik (BGU) Murnau identifiziert. Der Übungstermin war an eine anstehende Baumaßnahme gekoppelt (Abbruch des Gebäudeflügels und anschließender Neubau) und konnte erst im März 2011 auf den 30. Juli 2011 festgelegt werden. Da dieser Termin genau auf das Wochenende nach Erprobung E2 fiel, beschloss der e-Triage Verbund, bei dieser Übung lediglich beobachtend teilzunehmen.

Letzten Endes wurde E1 nicht während der Projektlaufzeit durchgeführt. Zu E2 eingeladene Besucher berichteten von zwei Softwareherstellern, die bereits ein elektronisches Notarzteinsatzprotokoll kommerziell anbieten. Der e-Triage Verbund nahm mit diesen Herstellern Kontakt auf, um mögliche weitere gemeinsame Schritte zu identifizieren. Freiwerdende Ressourcen wurden für die Vorbereitung von E3 verwendet.

1.3.3 E2 Ruethenfest Landsberg

Laut Antrag sollte diese Erprobung mit den Schwerpunkten Kommunikation (Satellitenkommunikation, GSM, WLAN), Datenbanksystem und Web Services bei der Sanitätsabsicherung des Kaltenberger Ritterturniers im Juli 2011 stattfinden. Eine entsprechende Genehmigung vom Veranstal-

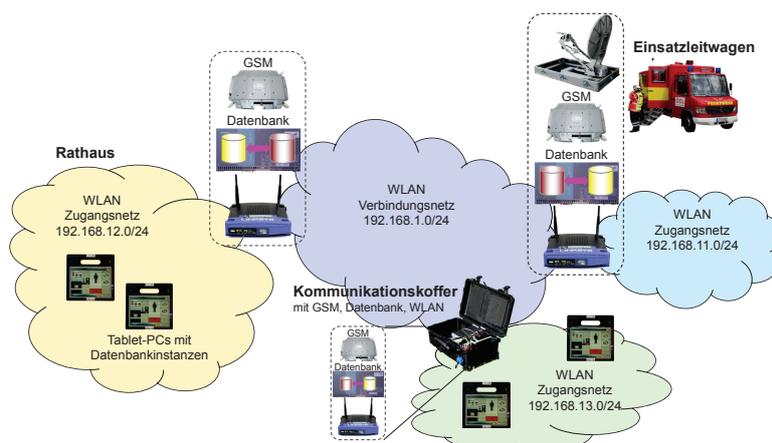


Abbildung 1.2: Architekturskizze Erprobung E2 am 23./24. Juli 2011 in Landsberg am Lech.

ter lag vor, allerdings erwies sich das zeitgleich stattfindende Ruethenfest in Landsberg am Lech als besser geeignet. Zum einen ist die historische Altstadt von Landsberg mit ihren engen Gassen deutlich schwieriger mit eigenen Funkzellen zu versorgen, zum anderen konnten die erforderlichen technischen Installationen und das Besucherzelt deutlich abseits vom Festgeschehen aufgebaut werden, so dass die Veranstaltung in keiner Weise beeinträchtigt wurde. Die Architektur von Erprobung E2 ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

Verbundpartner LMU war insbesondere an der Analyse von Arbeitsplätzen und Arbeitsbedingungen bei Großereignissen interessiert und nutzte die Anwesenheit von vielen Kräften der Sanitätsabsicherung für die Durchführung von Versuchsreihen zur gerätegestützten Vorsichtung.

1.3.4 E3 MANV-Übung

Bei Erprobung E3 sollte das Gesamtsystem unter realistischen Bedingungen getestet werden. Unter der Leitung des Landratsamtes Starnberg als Unterauftragnehmer des DLR wurde eine entsprechende Großübung vorbereitet. Geplantes Szenario war die Kollision eines voll besetzten Reisebusses mit einer S-Bahn am Bahnübergang in Herrsching am Ammersee, bei der der Reisebus umgestürzt ist.

Die Vorbereitungen für Erprobung E3 in Herrsching (geplanter Termin: 22.10.2011) wurden Mitte Februar 2011 unter der Leitung des Landratsamtes Starnberg (als Unterauftragnehmer des DLR) begonnen. Der Aufwand hierfür war beträchtlich, da für das Szenario 100 Verletztendarsteller (20 Kategorie rot, 40 gelb, 40 grün; 40 Personen im Bus, 60 in der S-Bahn) und ca. 320 Rettungskräfte sowie weitere Helfer (150 Feuerwehr, 100 Rettungsdienst, 10 Polizei, 20 Ärzte, 30 Technisches Hilfswerk (THW), 10 Deutsche Bahn/S-Bahn München, 10 Kriseninterventionsteam, 10 Kreisverbindungskommando Starnberg, 10 Realistische Unfalldarstellung, 20 Schiedsrichter) koordiniert werden mussten. Für die erwartete dreistellige Anzahl von Gästen wurde ein Rahmenprogramm und eine Video-Live-Übertragung in der nahe gelegenen Realschule vorbereitet. Eine Kamera auf einer

Feuerwehr-Drehleiter sowie eine Handkamera sollten das Geschehen live übertragen, ohne dass die Rettungskräfte bei ihrer Arbeit durch Zuschauer behindert werden. Neben der unentgeltlichen Arbeit der Rettungskräfte und der Finanzierung durch das e-Triage Projekt wurden die Vorbereitungsmaßnahmen aus Mitteln des DLR-Center of Excellence "Robuste und zuverlässige Kommunikation" mit einem knapp fünfstelligen Betrag unterstützt.

Leider musste diese Übung etwa zwei Wochen vor der geplanten Durchführung abgesagt werden, da der Bürgermeister der Gemeinde Herrsching die Durchführung der Übung nicht gestattete. Hintergrund war eine Kommunikationsspanne zwischen dem Landratsamt Starnberg (federführende Organisation der Übung) und der Gemeinde Herrsching bzw. Kommunikationsdefizite innerhalb der Gemeindeverwaltung Herrsching, weswegen der Bürgermeister von Herrsching nicht ausreichend informiert wurde. Eine Ausweichmöglichkeit für die Übung konnte derart kurzfristig nicht mehr geschaffen werden bzw. wurde eine Verlegung als zu risikoreich erachtet, so dass letzten Endes die Übung abgesagt werden musste.

Eine erneute Ausrichtung der Großübung in dieser oder ähnlicher Form war wegen der bereits verbrauchten Ressourcen faktisch nicht mehr möglich. Deswegen wurde am 30. März 2012 die Erprobung E3 mit deutlich reduziertem Umfang durchgeführt. In einer Art Planspiel, in dem ein MANV-Szenario abgearbeitet werden musste, wurde das technische Konzept erprobt. Die Stationen bzw. Rollen Vorsichtung, Patientenablage, Behandlungsplatz (BHP), Sanitätseinsatzleitung, Krankenhaus und Rettungsleitstelle wurden mit e-Triage Systemen ausgestattet. Ziel war es, dass reale Einsatzkräfte fiktive Patienten sichten und deren Behandlung und Transport organisieren. Die Übung fand unter Ausschluss der Öffentlichkeit statt.

Es wurden insgesamt sechs Tablet-PCs und zwei Laptops mit der e-Triage Software sowie eine Remote-Datenbank eingesetzt, die auf mehrere, die unterschiedlichen Stationen des Patientenflusses darstellende Räume, aufgeteilt wurden. Je e-Triage Rechner wurde eine Datenbank verwendet, wodurch sich die in Abbildung 1.3 gezeigte Architektur ergab. Die externe Datenbank wurde per Wide Area Network (WAN) angeschlossen und befand sich Verbundpartner Euro-DMS, wo auch der Webservice lief, der das Interface für den Klinik-Zugang zu den Patientendaten bereitstellt. Die mobilen Rechner wurden per WLAN angebunden, das durch den Kommunikationskoffer im Regieraum zur Verfügung gestellt wurde. Die Anbindung der externen Datenbank erfolgte über das im Gebäude verfügbare Internet. Trotz eines kurzzeitig aufgetretenen Problems mit dem Betriebssystem eines Tablet-PCs waren die Patientendaten stets sicher gespeichert und am Ende voll synchronisiert.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Bisher werden bei der Vorsichtung und der weiteren Behandlung bzw. Transport mit einem Stift Angaben auf einer Patientenanhängekarte (mit Klassifizierungsangaben) notiert – mit den bekannten Problemen bei schlechter Witterung, Dunkelheit sowie möglicher Unleserlichkeit durch mecha-

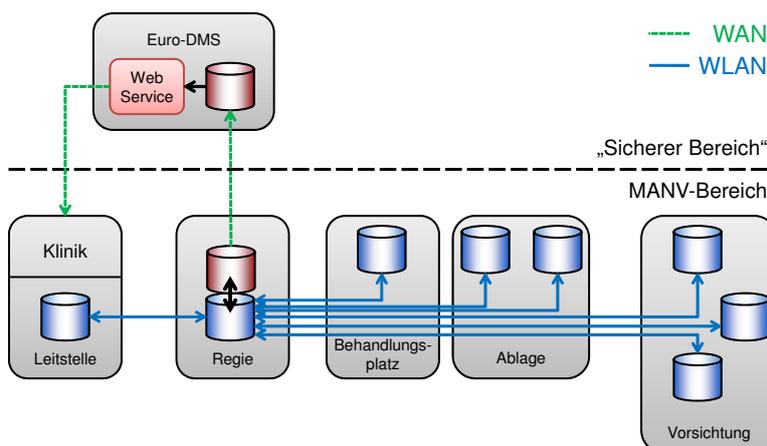


Abbildung 1.3: Architekturskizze Erprobung E3 am 30. März 2012 in Weßling.

nische/chemische Einflüsse oder unsaubere Handschrift. Das System der Anhängerkarten ist zwar einfach zu bedienen und robust, allerdings verbleiben die Informationen über den Patienten am Patienten. Diese Daten können dann entweder nur durch zeitraubendes Abschreiben dupliziert und an andere Stellen weitergeleitet oder per Sprache (Funk) übermittelt werden. Aus Datensicht jedoch bedeutet sprachbasierte Übermittlung automatisch auch "geringe Bandbreite"; und diese Kanäle sind bei einem MANV oft gesättigt. Darüber hinaus führt ein miteinander konkurrierender Fluss (Papier und Sprache) für denselben Informationstyp zu Schwierigkeiten bei der Sicherstellung von Datenkonsistenz sowie genauer und zuverlässiger Datenaktualisierungen.

Das Forschungsfeld der Datenbanken ist umfangreich, daher erscheint es zunächst zweckmäßig, dieses auf den Forschungsgegenstand einzuengen. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass ein verteiltes Datenbankmanagementsystem wie folgt definiert ist [Dat03]:

A distributed database system consists of a collection of sites, connected together via some sort of network, in which: 1) Each site is a database system in its own right and 2) Sites have agreed to work together (if necessary), so that a user at any site can access data anywhere in the network exactly as if the data were all stored at the user's own site.

Ein Distributed Database Management System (DDBMS) beschreibt somit ein Database Management System (DBMS), das ein gewisses Maß an Autonomie, Heterogenität und Verteilung aufweist. Je nach Ausprägung dieser drei Kriterien in einem lassen sich verschiedene verteilte DBMS unterscheiden. Die Autonomie eines DDBMS bezeichnet den Grad, zu dem verschiedene miteinander verbundene DBMS unabhängig voneinander operieren können. Dabei können unabhängige Entscheidungen hinsichtlich des Designs, der Kommunikation und der Ausführung getroffen werden. Ein hoher Grad an Autonomie führt durch unterschiedliche Entscheidungen in der Regel auch zu einer wachsenden Heterogenität. Dies ist auch im vorliegenden Fall erforderlich, da die einzelnen Institutionen unabhängig voneinander handlungsfähig bleiben müssen. Die Heterogenität beschreibt die Gleich- bzw. Verschiedenartigkeit des DDBMS. Von einem heterogenen DDBMS

spricht man üblicherweise, wenn die einzelnen DDBMS-Komponenten unterschiedlich sind, also z.B. auf unterschiedliche zugrundeliegende DBMS aufsetzen. Aufgrund der Anforderung nach Adaption der Datenreplikation auf die zugrundeliegende Kommunikationsinfrastruktur wird im vorliegenden Antrag jedoch von einem homogenen DDBMS ausgegangen, d.h. die auf den verschiedenen Komponenten eingesetzten DBMS sind im wesentlichen gleich.

Es existieren bereits eine Reihe frei verfügbarer und kommerziell vertriebener Replikationslösungen für DDBMS, die zum Teil auch direkt im DBMS selbst integriert sind. Folgende kostenlos erhältliche Software wurde dabei in Betracht gezogen und näher auf die Tauglichkeit für das e-Triage Projekt untersucht:

- Bucardo (für PostgreSQL),
- RubyRep,
- SymmetricDS,
- Ingres Replicator.

Keines der gelisteten Produkte erfüllte gänzlich die Anforderungen des e-Triage Projekts: Die gewünschte Priorisierung von einzelnen Elementen eines Datensatzes sowie die zugehörige Schnittstelle zur adaptiven Steuerung der Datenreplikation ist bei keinem der Produkte vorgesehen. Hauptaufgabe war daher im Projekt, zum einen ein brauchbares existierendes System auszuwählen, das wenigstens einen Teil der Anforderungen erfüllt, und zum anderen die entsprechenden Schnittstellen zu schaffen. Aus diesem Grund wurde später ein Open-Source-Projekt als Grundlage für die Arbeiten in e-Triage ausgewählt. Außerdem müssen das Datenbanksystem bzw. die darunterliegenden Kommunikationsprotokolle für den Einsatz in stark heterogenen Netzen optimiert werden. "Stark heterogen" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass am Einsatzort unterschiedlichste Kommunikationsinfrastrukturen vorhanden sein können, die typischerweise sehr schmalbandig sind und bereits mit Sprachübertragung gesättigt sein können. Satellitenkommunikation ist zwar weitgehend autonom von bestehender Infrastruktur, allerdings müssen Datenübertragungsprotokolle an die großen Signallaufzeiten angepasst sein. Im Vordergrund steht hier nicht die verfügbare Bandbreite, sondern die Anzahl von Nachrichten, die über den Satellitenlink ausgetauscht werden müssen.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.5.1 Verbundpartner

Die TriaGnoSys GmbH arbeitete im Verbund an geeigneten Kommunikationsinfrastrukturlösungen für den Einsatz in Katastrophenfällen. Hauptinteresse war hierbei, autonome GSM oder Terrestrial Trunked Radio (TETRA) Funkzellen über ein Satellitensystem unter Berücksichtigung von Datenverkehrsprioritäten an ein bestehendes Kernnetz anzubinden.

Euro-DMS Ltd. entwarf im Verbund das Funktionsmodell eines Endgeräts (Tablet-PC) für die Erst-sichtung von Verletzten bzw. die Erfassung von Betroffenen. Dazu musste eine Software mit einer Bedienoberfläche geschaffen werden, die den Anforderungen des Einsatzes genügt (Individual-notfall oder MANV). Hierbei wurden insbesondere Erkenntnisse der ethisch-psychologischen Be-gleitforschung (Partner LMU) berücksichtigt. Zusammen mit dem Projektpartner DLR wurde eine geeignete Datenstruktur festgelegt.

Aus der ethisch-psychologischen Begleitforschung durchgeführt durch die Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München waren grundlegende Erkenntnisse darüber zu erwarten, wie techni-sche Innovationen für Personen eingeführt werden können, damit sie die Innovationen unter er-heblichen psychischen Belastungen (wie sie die Arbeit unter den Bedingungen einer Großscha-denslage, eines MANV oder einer Katastrophe definitionsgemäß darstellen) annehmen und be-stimmungsgemäß einsetzen können.

1.5.2 Unterauftragnehmer und Anwender

Die Anwenderseite wurde in diesem Projekt durch die Partner BGU Murnau, BRK Kreisverband Starnberg und dem Amt für Brand und Katastrophenschutz des Landratsamtes Starnberg reprä-sentiert. Die BGU Murnau ist ein überregionales Zentrum der Maximalversorgung und übernimmt insbesondere die Behandlung von Schwerstverletzten wie Rückenmarkverletzten/ Querschnittge-lähmten, Brandverletzten sowie Patienten mit Mehrfachverletzungen, so genannten Polytraumen, viele davon mit schwersten Schädel-Hirn-Verletzungen. Außerdem führt die Unfallklinik den örtli-chen Notarzdienst bodengebunden sowie die regionale Luftrettung durch.

Dr. Holger Kirchner und Dr. Martin Dotzer sind in Personalunion Oberarzt für Anästhesie am Klini-kum Starnberg bzw. an der BGU Murnau und jeweils Leitender Notarzt in Starnberg bzw. Murnau. Der BRK Kreisverband Starnberg und namentlich der Leiter Rettungsdienst, Herr Georg Rötzer, sind für das Rettungswesen in Stadt und Landkreis Starnberg zuständig. Das Landratsamt Starn-berg beteiligte sich am Projekt in seiner Funktion als im Katastrophenfall weisungsbefugte Kata-strophenschutzbehörde. Alle vorgenannten Dritten trugen als Unterauftragnehmer des DLR zum Projekt bei.

Weitere Anwender im Projekt waren die BRK Kreisverbände Landsberg und Weilheim-Schongau, die dem Projektteam bei den bei den Erprobungen als Testpersonen zur Verfügung standen. Als assoziierte Anwender waren die Staatliche Feuerweherschule Geretsried (SFSG) sowie die BGU Murnau involviert.

Kapitel 2

Eingehende Darstellung

2.1 Ausführlicher Ergebnisbericht

Das vom DLR entwickelte Datenbanksystem besteht im Wesentlichen aus einer Verbindung eines asynchronen Datenbankreplikators mit einer hocheffizienten Synchronisierungslösung. Bei stabilen Netzwerkverbindungen wird der Replikator eingesetzt, nach einer Verbindungsunterbrechung wird automatisch auf eine Ressourcen schonende Synchronisierung umgeschaltet, ohne den gesamten Datenbestand umkopieren zu müssen. Mit der neuen DLR-Technologie lassen sich nicht nur Verbindungsunterbrechungen handhaben. Der dezentrale Aufbau stellt auch sicher, dass selbst bei einer weiträumigen Ausdehnung des Einsatzes die Informationen rasch zusammengetragen werden können, was mit einer völlig zentralisierten Datenspeicherung schwerlich erreichbar wäre.

Die einzelnen Instanzen werden sowohl auf den mobilen Erfassungsgeräten installiert, die im Folgenden als mobile Knoten bezeichnet werden, als auch auf Rechnern, die an festen Knoten angeschlossen sind. Ein fester Knoten ist beispielsweise ein Einsatzleitwagen oder ein Kommunikationskoffer und beinhaltet neben der Datenbankinstanz im einfachsten Fall einen IPv4-WLAN-Router mit NAT. Zusätzliche Instanzen des Datenbanksystems befinden sich auf dedizierten Servern in Rechenzentren im Internet, die über ein Webinterface von Krankenhäusern und Leitstellen abgefragt werden können.

Da die Netzanbindung der mobilen Erfassungsgeräte drahtlos erfolgt, kann es relativ häufig zu Verbindungsbeeinträchtigungen kommen. Replikationsmechanismen von verteilten Datenbanksystemen können mit diesen Linkunterbrechungen und der damit verbundenen Änderung der Netztopologie durch Wegfall und Wiedereintritt von Instanzen nicht automatisiert umgehen, was zu einem Verlust der Konsistenz des verteilten Datensatzes führt. Eine Veränderung der Netztopologie erfordert daher entweder eine manuelle Umkonfigurierung des Replikationssystems oder entsprechende aufwändige Signalisierung zwischen den Datenbankinstanzen, die bei häufigen Topologieänderungen, beispielsweise verursacht durch viele mobile Instanzen mit schlechtem Empfang, einen durchaus signifikanten Verbrauch von verfügbarer Bandbreite ausmachen kann.

Die Wahl des zu Grunde liegenden Datenbanksystems fiel auf die Ingres Datenbank. Diese ist in einer freien Version als Open Source Software erhältlich und bringt bereits eine Replikationslösung mit, die über Datenbankeinträge zu konfigurieren ist. Dadurch kann der Replikator relativ einfach von der e-Triage Software konfiguriert werden.

Die Konfiguration des Replikatorsystems erfordert in beiden Fällen eine globale Sicht auf die Netztopologie, die aber auf Grund der drahtlosen Anbindung der mobilen Instanzen und den sich daraus ergebenden häufigen und nicht planbaren Veränderungen kaum vorhanden ist. Die Hauptprobleme, Daten in solch einem dynamischen System konsistent zu halten, lauten also wie folgt:

- Das Entdecken von Veränderungen in der Systemtopologie.
- Die Auswahl einer geeigneten Replikations/Synchronisationsmethode.

Im Folgenden wird das vom DLR entwickelte Konzept beschrieben. Technische Details finden sich insbesondere in Referenz [Tan+12].

2.1.1 Dynamische Topologien

Systemarchitektur

Um das Problem der benötigten globalen Sicht zu vermeiden, wird der neu erarbeitete Ansatz verwendet, die mobilen von den festen Knoten zu entkoppeln und das gesamte Netz in mehrere autonome Teilnetze mit eigenem Replikatorsystem aufzuteilen, um eine aufwändige Signalisierung zu vermeiden und das notwendige Wissen über die vorhandenen Datenbankinstanzen auf einen lokalen Bereich zu beschränken.

Jeder feste Knoten bildet mit seinen mobilen Instanzen jeweils ein Zugangsnetz. Das Kernnetz wird zwischen den festen Knoten gebildet und verbindet die einzelnen autonomen Zugangsnetze miteinander (sowohl drahtgebunden als auch drahtlos). Die Datenbank im festen Knoten bildet dabei den Übergang zwischen den beiden Netzen. Ein Beispiel dieser Architektur ist in Abbildung 2.1 gezeigt. Diese Architektur ergab sich auch wegen der geforderten dynamischen Erweiterbarkeit der Drahtlosnetze. Beispielsweise kann ein weiterer WLAN-Router (fester Knoten) im Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) Client-Mode in ein bestehendes WLAN-Kernnetz aufgenommen werden, so dass sich alle festen Knoten im selben Subnetz befinden. Falls noch kein Kernnetz besteht agiert dieser Router als DHCP-Server für später beitretende feste Knoten.

Die mobilen Knoten können jederzeit den Funkbereich ihres festen Knotens verlassen und nach unbestimmter Zeit zurückkehren, oder auch in den Funkbereich eines anderen festen Knotens eintreten. Um einem Distributed Database System (DDBS) beizutreten, müssen mobile Knoten eine Verbindung zu einem festen Knoten aufbauen, welcher an eine Basisstation eines Drahtlosnetzwerks angebunden ist. In den mobilen Knoten werden Daten eingegeben, welche zu den entsprechenden festen Knoten weitergeleitet werden müssen, um von dort an alle anderen im System teilnehmenden Knoten verteilt zu werden. Auch sind die mobilen Knoten ohne aktive Netzwerk-

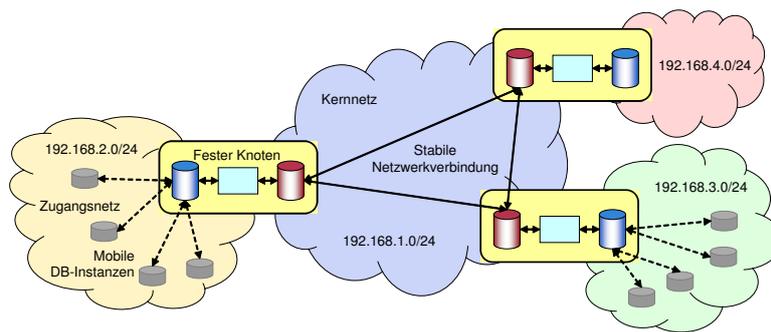


Abbildung 2.1: Aufteilung des Datenbankverbundes in Kernnetz und Zugangsnetze.

verbindung einsatzfähig, weshalb nach erfolgreichem Herstellen einer Netzwerkverbindung die eigene Datenbank mit der des festen Knotens abgeglichen und synchronisiert werden muss.

Automatisches Auffinden und Konfiguration der Netzknoten

Durch diese Entkoppelung muss das Replikatorsystem in einem Zugangsnetz nur entsprechend den lokal vorhandenen mobilen Instanzen konfiguriert werden. Dies lässt sich leicht automatisch bewerkstelligen, da die relevanten mobilen Instanzen im eigenen Subnet des festen Knotens durch einen Broadcast leicht entdeckt werden können. Tritt ein mobiler Knoten in den Funkbereich eines festen Knotens ein und verbindet sich mit der Basisstation dieses Zugangsnetzes, wird vom neuen mobilen Knoten ausgehend eine Broadcast-Nachricht gesendet. Diese wird von der festen Datenbankinstanz empfangen und mit einer Konfigurationsnachricht beantwortet, die dem mobilen Knoten weitere Informationen zum Verbinden mitteilt. Da in den Zugangsnetzen nur sternförmige Topologien auftreten, wird zudem die Konfiguration des Replikatorsystems deutlich erleichtert, was bei der hohen Dynamik der Zugangsnetze von Vorteil ist.

Die Replikatorconfiguration des Kernnetzes beschränkt sich auf die festen Instanzen. Diese kann ebenfalls automatisch durchgeführt werden, da sich alle festen Instanzen im selben Subnetz befinden. Hier können wieder mit einem Broadcast alle vorhandenen festen Knoten entdeckt werden. Verlässt ein mobiler Knoten ein Teilnetz und tritt einem anderen Netz bei, so meldet er sich nur bei dem neuen zuständigen festen Knoten an. Eine Signalisierung zwischen den festen Knoten zweier Teilnetze über diese Topologieveränderung ist nicht erforderlich. Abmeldungen von mobilen/festen Knoten erfolgen indirekt über den Ablauf von Timern.

Datenableich und selbstadaptierender Auswahlalgorithmus

Da auf allen Knoten das Datenbanksystem installiert ist, und jeder Knoten alle vorhandenen Daten speichert, bleiben die mobilen Knoten auch beim Wegfall eines festen Knotens voll einsatzfähig. Durch den Verzicht auf einen zentralen Server, der einen "Single Point of Failure" darstellt, wird die Netztopologie möglichst flach gehalten, wodurch eine einfache dynamische Änderung des

Netzes ermöglicht wird. So können beispielsweise Daten bereits vor dem Aufbau eines Kommunikationsknotens gesammelt, und sobald dieser verfügbar ist, mit den anderen Datenbankinstanzen abgeglichen werden.

Um die bestmögliche Leistung beim Abgleich der Daten zwischen zwei Datenbankinstanzen zu erreichen, wird nach einem erfolgreichen Verbindungsaufbau eine auf den momentan verwendeten Übertragungskanal angepasste Synchronisationsmethode ausgewählt. Die drei zur Auswahl stehenden Methoden sind:

SlowSync. Alle Inhalte einer Datenbank werden einfach in eine andere Datenbank kopiert, ohne vorher die Unterschiede festzustellen (copy-compare-merge) [AST02]. Der Bandbreitenbedarf dieser Methode ist abhängig von der Größe des Datensatzes der Quelle. Bestehen zwischen den Datensätzen von Quelle und Ziel nur wenige Unterschiede, wird diese Methode sehr ineffizient.

Characteristic polynomial interpolation-based synchronization (CPISync) stellt zuerst die Unterschiede in den Daten zwischen zwei Datenbanken fest, und überträgt anschließend nur diese Unterschiede (compare-copy-merge) [MTZ03; TSA02]. Die Feststellung der Unterschiede geschieht dabei durch Übertragen und Interpolation von Stützstellen eines charakteristischen Polynoms, so dass der Bandbreitenbedarf für diese Methode nicht von der Größe des Datensatzes, sondern nur von den wirklichen Unterschieden abhängt. Die zusätzlich zu übertragenden Daten für die Stützstellen sind im Vergleich zu den wirklichen Nutzdaten zu vernachlässigen, allerdings kann es bei sehr großen Unterschieden zu kurzen Verzögerungen durch die nötige Interpolation kommen.

Ingres Replikator. Änderungen am Datenbestand werden kontinuierlich und zeitnah übertragen. Bei dieser Methode werden neue Daten, sobald sie in eine Datenbank eingetragen werden, automatisch an andere Datenbanken weitergeleitet, wofür eine Konfiguration aller beteiligten Datenbanken nötig ist. Sind alle beteiligten Datenbanken eingerichtet, bietet diese Methode eine sehr effiziente und sichere Verteilung neuer Datensätze. Der Replikator eignet sich aber nicht, um bereits bestehende Unterschiede von Datenbanken zu synchronisieren.

Für die Auswahl der am besten geeignetsten Methode wird der in Abbildung 2.2 dargestellte Algorithmus verwendet. Sobald ein neuer Knoten dem System beitrifft, startet er im Zustand "not connected". Dieser Knoten sucht nun automatisch nach bereits vorhandenen festen Knoten und verbindet sich mit einem von ihnen. Handelt es sich um die erste Verbindung des mobilen Knotens, und ist seine Datenbank noch leer, wird die SlowSync-Methode benutzt. Die Daten des festen Knotens werden hierbei komplett in die Datenbank des mobilen Knotens kopiert. Anschließend wird der Ingres Replikator in beiden Knoten so konfiguriert, dass der neue Knoten Teilnehmer im bestehenden Replikationsverbund wird und somit alle neuen Daten der anderen in diesem Zugangsnetz bereits vorhandenen Datenbankinstanzen erhält bzw. alle neuen eigenen Daten an alle anderen verteilt. Solange keine längere Linkunterbrechung zwischen dem neuen mobilen und dem festen Knoten auftritt, wird der Replikator weiter verwendet und ermöglicht so eine schnelle Datenweiterleitung.

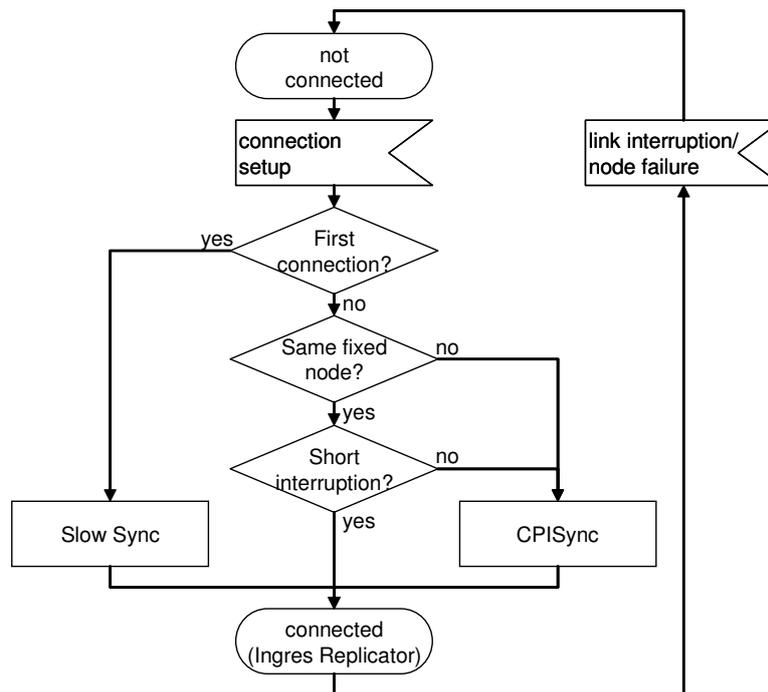


Abbildung 2.2: Ablaufdiagramm des Entscheidungsalgorithmus zur Auswahl der Synchronisationsmethoden. Idee geschützt durch Patent [TMD11].

Falls es sich nicht um die erste Verbindung des neu hinzugekommenen mobilen Knoten handelt, er also zuvor schon mit einem festen Knoten verbunden war, wird zunächst festgestellt, ob es sich noch um denselben festen Knoten wie zuvor handelt, oder ob nun mit einem anderen festen Knoten verbunden wird. Handelt es sich noch um denselben Knoten, trat eine Linkunterbrechung auf. Der nächste Schritt ist nun, die Dauer dieser Unterbrechung festzustellen.

Allgemein können asynchrone Replikatorsysteme [OV11] wie der Ingres Replikator mit kurzen Linkunterbrechungen umgehen, indem sie die während der Unterbrechung angefallenen Daten in einem Puffer zwischenspeichern und sie übertragen, sobald die Verbindung wiederhergestellt ist. War die Unterbrechung kurz genug, so dass sich nur wenige neue Daten im Puffer befinden, muss keine weitere Aktion unternommen werden, da der Replikator die im Puffer wartenden Daten von selbst überträgt, sobald die Verbindung wiederhergestellt ist.

Sollte es sich um eine längere Unterbrechung handeln, in der viele neue Daten angefallen sind, ist der Replikator nicht mehr in der Lage, die Daten effektiv konsistent zu halten. Der Schwellenwert, wann eine Unterbrechung als lang gilt, ist nicht von der verwendeten Datenbanktechnologie abhängig. Moderne Datenbanken sind in der Lage, große Datenmengen zu speichern und sie für eine spätere Übertragung zu puffern. Der Schwellenwert stellt also eine Designentscheidung dar, da in einem solchen dynamischen System wie dem e-Triage System nicht garantiert werden kann, dass ein mobiler Knoten wieder an den ursprünglichen festen Knoten zurückkehrt, und die Ressourcen, die für die Verbindung und Replikation mit diesem Knoten verwendet werden, irgend-

wann wieder freigegeben werden sollten.

Bei einer langen Unterbrechung, bei der der Replikator bereits gestoppt und der Puffer geleert ist, wird CPISync für die Datensynchronisierung verwendet. Hier werden zunächst die Unterschiede zwischen den beiden Datenbanken ermittelt, und dann nur diese übertragen. Besonders bei großen Datenmengen ist diese Methode im Vergleich zu SlowSync im Vorteil, da neben den wirklichen Unterschieden nur geringfügig mehr Daten übertragen werden müssen, um die Unterschiede festzustellen. Nachdem beide Datenbanken synchronisiert wurden, befindet sich der mobile Knoten wieder im "connected" Zustand, und der Replikator wird wieder für die kontinuierliche Replikation verwendet.

Sollte es sich bei dem festen Knoten, der die Anfrage des mobilen Knoten beantwortet hat, um einen anderen festen Knoten handeln als um den, mit dem er zuvor verbunden war, befindet sich der mobile Knoten im "Handover" Modus. Auch bei einer kurzen Unterbrechung wird hier nicht der Replikator verwendet, da dieser erst für den neuen festen Knoten konfiguriert werden muss. Außerdem ist nichts über die im jeweils anderen Knoten bereits vorhandenen Daten bekannt, so dass ein erneuter Datenbankabgleich nötig ist. In diesem Fall wird zuerst CPISync zum Feststellen der Unterschiede verwendet. Nach dieser Synchronisierung wird der Replikator konfiguriert, um den Knoten wieder in den "connected" Zustand zu bringen.

Durch den Auswahlalgorithmus kombiniert mit dem Mechanismus zum automatischen Auffinden von Knoten erreicht das DDBS einen hohen Grad von Autonomie, so dass keine manuelle Konfiguration durch technisch geschultes Personal mehr nötig ist, wenn sich die Topologie des Systems verändert. Der Auswahlalgorithmus sorgt für eine automatische Synchronisierung der Datenbestände nach Verbindungsunterbrechungen, so dass nach kurzer Zeit in allen Datenbanken alle Daten vorhanden sind. Die Synchronisierung erfolgt dabei im Hintergrund, so dass Benutzer der Tablet-PCs davon nicht gestört werden und sie normal weiterarbeiten können.

2.1.2 Skalierbarkeit des Replikationssystems

Problem der Skalierbarkeit

Innerhalb des Kernnetzes oder eines Zugangsnetzes wird das Replikatorsystem automatisch so konfiguriert, dass alle Daten, die von einem mobilen Knoten in die Datenbank eingetragen werden, über den entsprechenden festen Knoten an alle anderen mobilen Knoten des selben Zugangsnetzes weitergeleitet werden. Dieser feste Knoten ist auch dafür zuständig, sämtliche Daten an alle anderen vorhandenen festen Knoten zu verteilen. Wie in Abschnitt 2.1.1 erläutert, besitzt aufgrund der einfacheren Konfiguration und höheren Modularität jedes Teilnetz sein eigenes Replikatorsystem. Die festen Knoten dienen dabei als Schnittstelle für die Daten zwischen den Netzen. Eine Tabelle einer Datenbank kann aber wegen Beschränkungen im verwendeten quelloffenen Re-

plikator nicht gleichzeitig Teil von zwei unterschiedlichen Replikatorsystemen sein¹. Der von uns gewählte Ansatz, das System in ein Kernnetz und mehrere Zugangsnetze aufzuteilen, setzt dies aber voraus, um so den Übergang der Daten vom einen Netz in das andere zu bewerkstelligen.

Also werden zwei Datenbanken mit identischer Struktur im lokalen Server des festen Knotens eingesetzt, die mit einem Duplikator-Modul synchronisiert werden. Eine der beiden Datenbanken ist dem Zugangsnetz zugeordnet, die andere dem Kernnetz. Der Einsatz eines anderen kommerziell vertriebenen Replikators, der diese Einschränkung nicht besitzt, wird aus Kostengründen vermieden. Diese Aufteilung ist in Abbildung 2.1 beispielhaft für drei feste Knoten gezeigt. Genauere technische Details zur nötigen Konfiguration des Replikators sind in [Tan+12] erläutert.

Das Duplikator-Modul

Die Funktionsweise des Duplikators ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Der Duplikator meldet sich beim Start an beiden Datenbanken im festen Knoten an und registriert sich als Monitor für ein Event, das jedesmal auftritt, wenn in einer der Datenbanken ein neuer Eintrag eingefügt wird. Daten, die mit einer mobilen Instanz erfasst werden, werden zunächst mit der für das Zugangsnetz zuständigen Datenbank des festen Knotens abgeglichen. Der Duplikator wird von der Datenbank über die neuen Einträge informiert ("notify") und ruft diese in den internen Speicher ab ("fetch"). Er überprüft daraufhin, ob diese Einträge in der für das Kernnetz zuständigen Datenbank bereits vorhanden sind ("check"). Falls ja, werden die internen Einträge verworfen, andernfalls werden sie in diese eingetragen ("insert"). Von hier an werden die Daten über das Replikatorsystem des Kernnetzes an weitere feste Knoten weitergeleitet.

Der Transfer in entgegengesetzter Richtung, von der Datenbank des Kernnetzes zur Datenbank für die mobilen Knoten, funktioniert nach genau dem gleichen Prinzip. Dazu wird eine zweite Instanz des Duplikators mit vertauschten Datenbanken verwendet. Einträge, die vom Duplikator in eine Datenbank eingetragen werden, lösen kein Event aus, und werden somit auch nicht vom in entgegengesetzter Richtung arbeitenden Duplikator erkannt. Eine parallele Änderung derselben Daten in zwei unterschiedlichen Zugangsnetzen führt hier nicht zu einem Konflikt, da im Systemdesign für jede Änderung von Daten ein neuer Eintrag angelegt wird, und somit nur "inserts" auftreten. Allerdings können Linkunterbrechungen Nebenläufigkeiten verursachen, die sich nur durch einen Zeitstempel auflösen lassen.

Ein weiterer Vorteil, der sich aus der Verwendung eines Duplikator-Moduls und der Entkopplung der Replikationssysteme ergibt, ist, dass für beide Datenbankinstanzen eines festen Knotens unterschiedliche Replikationsmechanismen für die kontinuierliche Replikation verwendet werden können. Die hier verwendeten Konzepte sind allgemein gültig und nicht auch den Ingres Replikator beschränkt. Sie könnten zum Beispiel je nach verfügbarem Übertragungskanal ausgewählt werden, ähnlich wie es bereits bei den Verbindungsunterbrechungen zwischen mobilen und festen

¹Ingres 9.3 Replicator User Guide, <http://code.ingres.com/ingres/branches/advisor/src/tools/techpub/pdf/ReplicatorUser.pdf>

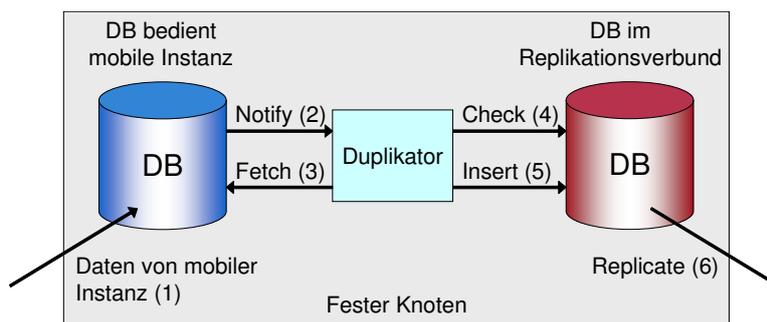


Abbildung 2.3: Funktionsweise des Duplikators. Idee geschützt durch Patent [Erl+11].

Knoten durch unseren Auswahlalgorithmus der Fall ist.

2.1.3 Simulation, Emulation und funktionale Verifizierung

Um das Gesamtsystem ausgiebig unter definierten und somit nachvollziehbaren Laborbedingungen erproben zu können wurde eine Emulationsumgebung mit dem Common Open Research Emulator (CORE) [Ahr+08] erstellt. CORE ist ein Open-Source Projekt, das von Boeing Research & Technology auf Basis des Integrated Multi-Protocol Emulator/Simulator (IMUNES) von der University of Zagreb entwickelt wurde. Es lassen sich damit virtuelle Knoten und Netzwerke am PC emulieren; die Bedienung erfolgt über eine graphische Benutzungsoberfläche. Die virtuellen Knoten sind ressourcenschonende virtuelle Linux Maschinen mit jeweils eigenem Netzwerk Interface. Die Netzwerke bzw. Netzwerkverbindungen zwischen den Knoten entstehen durch virtuelle Network Bridges, denen Linkeigenschaften (Delay, Bandbreite usw.) zugewiesen werden. Virtuelle WLANs können mit einfachen An/Aus-Modellen oder über Plugins mit komplexeren Eigenschaften versehen werden.

Zielsetzung für den Einsatz von CORE war die funktionale Verifizierung der Datenbanksynchronisierung in einer kontrollierten Umgebung. Neben Linux-Installationen des DDBS auf den virtuellen Maschinen von CORE können reale, Windows-basierte Tablet-PCs mit der tatsächlichen Anwendung und mit realen WLAN-Routern in des emulierte Netzwerk integriert werden. Mögliche Betriebssystemabhängigkeiten konnten somit in dieser heterogenen Umgebung untersucht werden.

Abbildung 2.4 zeigt eine beispielhafte Architektur des Emulators bestehend aus einem Host-PC mit CORE und einem realen WLAN-Router, über den mehrere Tablet-PCs angebunden sind. Der PC hat zwei Netzwerkschnittstellen: Die erste (eth0) ist für die Fernwartung der Emulation; an eth1 wird der WLAN-Router angeschlossen.

Mit CORE lassen sich Vorlagen für oft verwendete virtuelle Knoten mit bestimmten vordefinierten Diensten erstellen. Ein Dienst ist ein Python-Skript, das Anwendungen startet oder Einstellung vornimmt. In unserem Fall wurden Vorlagen für feste und mobile Datenbankinstanzen (Knoten) erstellt. Zusätzliche zu den Datenbank- und Replikationsdiensten enthalten die mobilen Instanzen

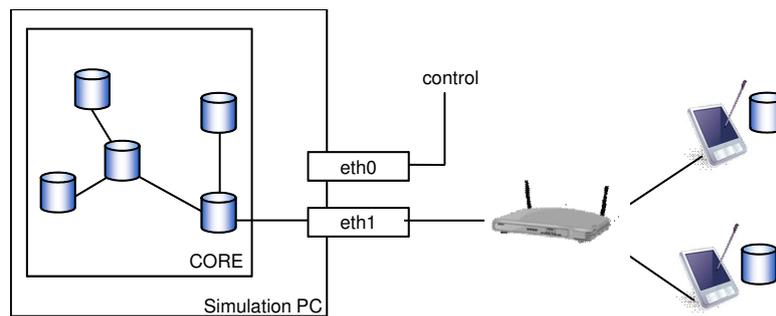


Abbildung 2.4: Emulationsumgebung mit realen Erfassungsgeräten (Tablet-PCs).

einen Datengenerator, der die jeweilige Datenbank befüllt. Virtuelle feste Knoten benötigen zudem einen DHCP Server, der den angeschlossenen virtuellen mobilen Knoten IP-Adressen zuweist.

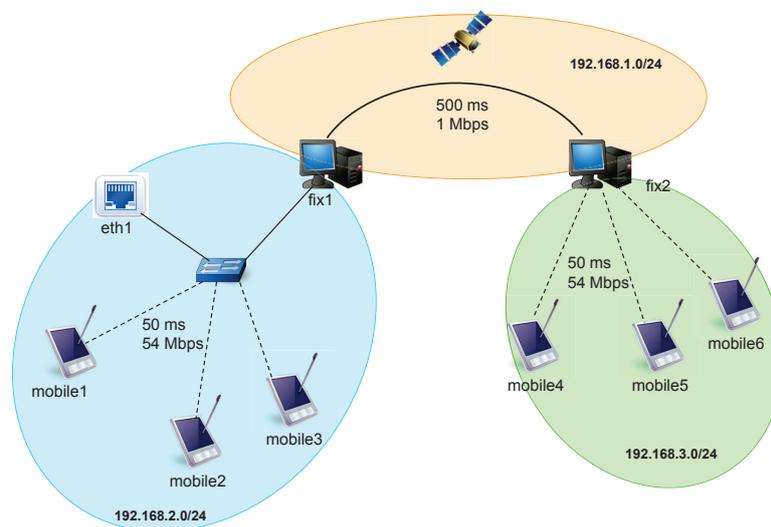


Abbildung 2.5: Typisches Emulations-Szenario mit CORE.

Ein typisches Emulations-Szenario ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Es besteht aus zwei festen Knoten (fix1 und fix2), sechs mobilen Knoten (mobile1 bis 6) und dem Netzwerkanschluss eth1, an dem reale Clients angeschlossen werden. Im Beispiel werden die beiden festen Knoten mit einem Very Small Aperture Terminal (VSAT) Satellitensystem verbunden; die Bandbreite beträgt 1 Mbit/s und die doppelte Signallaufzeit 500 ms. Virtuelle mobile Knoten sind mit 54 Mbit/s (entspricht IEEE 802.11g) angebunden.

Die virtuelle WLAN-Abdeckung entsteht sinngemäß durch einen Kreis mit einem bestimmten Radius um jeden festen Knoten (Annahme: An jedem feste Knoten befindet sich ein WLAN-Router). Die virtuelle skriptgesteuerte Bewegung eines mobilen Knotens kann somit Linkunterbrechungen oder sogar Handover bewirken (d.h. Verlassen einer WLAN-Funkzelle und Betreten einer anderen).

Beim Starten der Emulation erhält jeder Knoten individuelle Konfigurationen. Zunächst müssen sich die beiden festen Knoten finden und ihre Datenbestände abgleichen. Die mobilen Knoten

synchronisieren ihre Datenbanken mit dem jeweiligen nächsten festen Knoten.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 2.1 zeigt die bewilligten Positionen laut dem Zuwendungsbescheid vom 16.06.2009. Die aufgelisteten Ausgaben sind vorläufig, da eine Nachkalkulation der Personalkosten des Jahres 2012 nicht berücksichtigt wurde, die beim Verfassen des Schlussberichts noch nicht verfügbar war. Durch diese Nachkalkulation werden sich die angegebenen Personalkosten voraussichtlich leicht reduzieren.

Tabelle 2.1: Bewilligte Positionen laut Zuwendungsbescheid vom 16.06.2009 und tatsächliche Ausgaben (vorläufige Berechnung).

Position	Bezeichnung	bewilligt	tatsächlich
0813	Material	4.200,00	3.253,01
0823	FE-Fremdleistungen	118.750,00	96.354,57
0837	Personalkosten	568.100,00	557.592,60
0838	Reisekosten	8.600,00	7.353,45
0847	vorhabenspezifische Abschreibungen	101.400,00	49.623,00
0850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	44.250,00	12.597,14
0856	Kosten innerbetrieblicher Leistungen	0,00	2.635,55
	Summe	845.300,00	729.409,32

Anzumerken ist, dass das DLR den größten Teil der im Vorhaben benötigten Hardware beschafft hat. Des Weiteren wurden Unteraufträge und Ausgaben für die Erprobungen ebenfalls über das DLR abgewickelt. Die angegebenen Positionen untergliedern sich grob wie folgt:

Material: RFID-Aufkleber, 2D-Strichcode-Aufkleber, Patientenanhängekarten.

FE-Fremdleistungen: Erprobungen, Beratungsleistungen.

Personalkosten: Wissenschaftliche Mitarbeiter Kategorie I.

Reisekosten: Projekttreffen, Erprobungen, Konferenzen.

Vorhabenspezifische Abschreibungen: Tablet-PCs (ruggedized), Satellitenterminals (selbstausrichtende VSAT Antenne), Microbox-PCs, Strichcode-Scanner, mobile Drucker, Bluetooth Headsets, Helmkameras usw.

Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten: Satellitenkapazität (Inmarsat BGAN, VSAT-System), UMTS-Verträge, Ausgaben für Feldversuche und Erprobungen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Obwohl eine praxisgerechte elektronische Erfassung von Patienten von Anwendern immer wieder gefordert wird, konnte sich bisher noch keine Lösung etablieren.

Die elektronische Erfassung von Anhängerkarten mit entsprechend angepassten Endgeräten ist eigentlich eine etablierte Technik, die bei Warenwirtschaftssystemen, Logistikzentren und Lagerhaltung seit vielen Jahren erfolgreich angewendet wird. Allerdings ist der Einsatz in Notfallszenarien speziell dadurch gekennzeichnet, dass Datenerfassung und Datenübermittlung nicht in einer eigens dafür abgestimmten und optimierten Umgebung erfolgen, sondern auch unter widrigsten Einsatzbedingungen funktionieren müssen. Es ist überhaupt kein Problem, Datenbanken über drahtgebundene Local Area Networks (LANs) zu synchronisieren, da Bandbreite bei Gebäudeinstallationen mehr als ausreichend vorhanden ist. Der Notfalleinsatz ist dagegen typischerweise durch eine im Vorfeld unbekannte Netztopologie sowie durch unzuverlässige Drahtlosverbindungen gekennzeichnet. Eine Datenbanksynchronisierung muss auf diese Gegebenheiten Rücksicht nehmen und trotzdem voll skalierbar sein. Die geforderte universelle Einsetzbarkeit für dieses Teilvorhaben brachte einen entsprechend hohen Komplexitätsgrad mit sich. Zusätzliche musste eine Systemrobustheit erreicht werden, die trotz des Forschungscharakters der Arbeiten ausreichend für eine realitätsnahe Erprobung mit Einsatzkräften ist.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen

2.4.1 Wissenschaftlicher Nutzen

Die erzielten Ergebnisse sind womöglich für den Bereich der Satellitenkommunikation generell relevant. Es laufen gerade Überlegungen, das Synchronisationssystem CPISync für Multicast-Anwendungen über Satellit einzusetzen. Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsprojekte in anderen Anwendungsbereichen (z.B. in Verbindung mit Network-Coding, Multicast über Satellit usw.) sind daher durchaus denkbar.

2.4.2 Wirtschaftlicher Nutzen

Das DLR e.V. kann selbst nicht unternehmerisch tätig werden, so dass andere Wege für die anschließende Verwertung gefunden werden müssen. Primäres Ziel ist es, die eingereichten Patente an interessierte Softwarefirmen (d.h. ehemalige Verbundpartner oder andere Unternehmen) zu lizenzieren.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt

Auf dem Gebiet der Datenbanksynchronisierung in heterogenen Netzen ist dem Zuwendungsempfänger während der Projektlaufzeit kein anderer Fortschritt bekannt geworden.

Hinsichtlich des Gesamtprojekts ist zu erwähnen, dass aufgrund der Veröffentlichung des minimalen Notfalldatensatzes MIND3 [Mes+11] einige Softwarehersteller Implementierungen des elektronischen Notarzt-Einsatzprotokolls auf den Markt gebracht haben. Zuletzt wurde vom Schwesterprojekt "SPIDER" die Protection & Rescue Markup-Language (PRML) vorgestellt, die im e-Triage Vorhaben nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Nach Projektende wurde Referenz [Deu12] veröffentlicht, die "Anforderungen an die Struktur und den Inhalt des Informationsaustausches zwischen Informationssystemen in der zivilen Gefahrenabwehr" festlegt.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen

- [Adl+11a] Christine Adler, Anton Donner, Michaela Kühling und Marion Krüsmann. "(Vor-)Sichtung und elektronische Betroffenenenerfassung bei einem Massenanfall von Verletzten". In: *Handbuch des Rettungswesens*. Hrsg. von Kolja Mendel und Peter Hennes. Witten: Mendel Verlag, Sep. 2011. Kap. A 1.4 [20]. ISBN: 978-3-930670-30-7.
- [Adl+11b] Christine Adler, Marion Krüsmann, Thomas Greiner-Mai, Anton Donner, Javier Mulero Chaves und Àngels Via Estrem. "IT-Supported Management of Mass Casualty Incidents: The e-Triage Project". In: *Proceedings 8th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*. Lisbon, Portugal, Mai 2011. URL: <http://www.iscramlive.org/ISCRAM2011/proceedings/papers/206.pdf>.
- [Cha+11] Javier Mulero Chaves, Anton Donner, Chen Tang, Christine Adler, Marion Krüsmann, Àngels Via Estrem und Thomas Greiner-Mai. "An Interdisciplinary Approach to Designing a Mass Casualty Incident Management System". In: *Proceedings International Workshop on Emergency Telecommunications in conjunction with the 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (EMT 2011 (WPMC 2011 Workshop))*. Brest, France, Okt. 2011, S. 662–666.
- [DAG12] Anton Donner, Reiner Arlt und Thomas Greiner-Mai. "Jenseits von Papier und Sprache. Anmerkungen zur MANV-Bewältigung mit digitaler Informations- und Kommunikationstechnik". In: *Proceedings 1. Symposium ICT in der Notfallmedizin (NotIT)*. Hrsg. von Björn Bergh, Asarnusch Rashid und Rainer Röhrig. Rauschholzhausen: German Medical Science, Juni 2012, S. 73–79. URL: <http://dx.doi.org/10.3205/12notit10>.

- [DGA12] Anton Donner, Thomas Greiner-Mai und Christine Adler. "Challenge Patient Dispatching in Mass Casualty Incidents". In: *Proceedings of the 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*. Hrsg. von Leon Rothkrantz, Jozef Ristvej und Zeno Franco. Vancouver, Canada, Apr. 2012.
- [DM11] Anton Donner und Javier Mulero Chaves. "IT-supported management of mass casualty incidents: the e-Triage project". In: *The 4C-Challenge: Communication - Coordination - Cooperation - Capacity Development. Selected contributions to the Fourth United Nations International UN-SPIDER Bonn Workshop on Disaster Management and Space Technology, 2010*. Hrsg. von Robert Backhaus, Lorant Czarán, Natalie Epler, Michael Leitgab, David Stevens und Joerg Szarzynski. Bonn: UN-SPIDER, 2011. URL: <http://www.un-spider.org/4c-challenge-communication-coordination-cooperation-capacity-development>.
- [Don+10] Anton Donner, Christine Adler, Michael Ben-Amar und Markus Werner. "IT-Supported Management of Mass Casualty Incidents: The e-Triage Project". In: *Proceedings 5th Future Security Research Conference*. Berlin, Sep. 2010. ISBN: 978-3-8396-0159-4.
- [Don+11] Anton Donner, Stefan Erl, Christine Adler, Anton Metz, Marion Krüsmann, Thomas Greiner-Mai und Michael Ben-Amar. "Projekt e-Triage: Datenmanagement für einen Massenanfall von Verletzten". In: *INFORMATIK 2011 - Workshop zur IT-Unterstützung von Rettungskräften*. Gesellschaft für Informatik e.V. Berlin, Okt. 2011.
- [Erl+11] Stefan Erl, Chen Tang, Javier Mulero Chaves und Anton Donner. "Verfahren zum Synchronisieren der Datenbestände von Datenbanken. Verfahren zur Synchronisierung von verteilten Datenbanksystemen mit veränderlicher Topologie". Dt. Pat. 10 2011 018 878.9 (DE). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. 29. Apr. 2011.
- [eTr12] e-Triage Verbund. *Internetauftritt des Forschungsprojekts Elektronische Betroffenenerfassung in Katastrophenfällen e-Triage*. 2009–2012. URL: <http://www.e-triage.de>.
- [ETS11] ETSI. *Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite Emergency Communications (SatEC); Emergency Communication Cell over Satellite (ECCS) (ETSI Technical Report 103 166 V1.1.1)*. Rapporteur: Anton Donner. European Telecommunications Standards Institute. Sep. 2011.
- [GD10] Thomas Greiner-Mai und Anton Donner. "Data Management in Mass Casualty Incidents: The e-Triage Project". In: *Proceedings INFORMATIK 2010 - Workshop zur IT-Unterstützung von Rettungskräften*. Gesellschaft für Informatik e.V. Leipzig, Sep. 2010, S. 200–206. ISBN: 978-3-88579-270-3.
- [Tan+10] Chen Tang, Anton Donner, Javier Mulero Chaves und Muhammad Muhammad. "Performance of Database Synchronization Algorithms via Satellite". In: *Proceedings 5th Advanced Satellite Multimedia Systems (ASMS) Conference and 11th Signal Processing for Space Communications (SPSC) Workshop*. Cagliari, Sardinia, Italy, Sep. 2010, S. 455–461. ISBN: 978-1-4244-6832-4.
- [TMD11] Chen Tang, Javier Mulero Chaves und Anton Donner. "Verfahren zum Synchronisieren der Datenbestände von Datenbanken. Automatisiertes Verfahren zur Wahl eines

- geeigneten Replikations- und Synchronisierungsalgorithmus". Dt. Patentanmeld. 10 2011 107 508.2 (DE). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. 15. Juli 2011.
- [Via+10] Àngels Via Estrem, Javier Fernandez Villares, Markus Werner und Anton Donner. "Satellite Communications for Management of Mass Casualty Incidents: The e-Triage Project". In: *Proceedings 28th International Communication Satellite Systems Conference & Exhibit (ICSSC)*. AIAA. Anaheim, California, USA, Sep. 2010.

2.6.2 Präsentationen und Messen

- [AD11] Christine Adler und Anton Donner. "IT-Supported Management of Mass Casualty Incidents: The e-Triage Project". In: *World Conference on Disaster Management (WCDM)*. Poster presentation. Toronto, Canada, Juni 2011.
- [DA11] Anton Donner und Reiner Arlt. "Projekt e-Triage". In: *29. Fortbildungstagung der agbn gemeinsam mit der Jahrestagung der BAND*. Messestand und Vorführung. Arbeitsgemeinschaft der in Bayern tätigen Notärzte (agbn) in Verbindung der Akademie für Ärztliche Fortbildung der Bayerischen Landesärztekammer sowie der Bundesvereinigung der Arbeitsgemeinschaften der Notärzte Deutschlands (BAND). Würzburg, Okt. 2011.
- [DD12] Anton Donner und Martin Dotzer. "Elektronische Betroffenenerfassung und Patientendisposition". In: *Sichtungs-Konsensus-Konferenz*. Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern. Berlin, Okt. 2012.
- [DF11] Anton Donner und Laurent Franck. "Satellite Communications for Disaster Management and e-Health". In: *SatNEx-III Summer School*. Satellite Network of Experts (SatNEx). Siena, Italy, Sep. 2011.
- [Don10a] Anton Donner. "Elektronische Betroffenenerfassung bei einem Massenanfall von Verletzten". In: *6. Europäischer Bevölkerungs- und Katastrophenschutzkongress*. Bonn Bad Godesberg, Sep. 2010.
- [Don10b] Anton Donner. "Satellitenkommunikation für den Katastrophenschutz: Das e-Triage Projekt". In: *2. Nationale Konferenz "Satellitenkommunikation in Deutschland"*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). Bonn, März 2010.
- [Don11a] Anton Donner. "Elektronische Betroffenenerfassung in Katastrophenfällen". In: *Hauptstadtkongress der DGAI für Anästhesiologie und Intensivtherapie mit Pflegesymposium (HAI)*. Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI). Berlin, Sep. 2011.
- [Don11b] Anton Donner. "Satellite Communication Research for Crisis Preparedness and Response". In: *Future Network and Mobile Summit*. Warsaw, Poland, Juni 2011.
- [Don12] Anton Donner. "Elektronische Betroffenenerfassung in Katastrophenfällen". In: *BMBF-Innovationsforum "Zivile Sicherheit"*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Berlin, Apr. 2012.

- [eTr10] e-Triage Verbund. "Projekt e-Triage". In: *Tag der offenen Tür: "Zukunft – Jetzt erleben"*. Messestand und Vorführung. DLR. Standort Oberpfaffenhofen, Okt. 2010.

2.6.3 Diplom- und Masterarbeiten

- [Ber10] Thomas Bertrand. "Synchronization of Distributed Databases over Heterogeneous Networks". Toulouse: Telecom Bretagne, Sep. 2010.
- [Erl11] Stefan Simon Erl. "Distributed Database Systems for Wireless Networks". Diplomarbeit. Technische Universität München, Mai 2011.
- [Sal10] Jawad Ahmed Saleemi. "TETRA Backhauling via Satellite Networks". Karlsruher Institut für Technologie, Okt. 2010.
- [Tan09] Chen Tang. "Synchronization of Distributed Databases over Heterogeneous Networks". Diplomarbeit. Technische Universität München, Nov. 2009.

2.6.4 Geplante Veröffentlichungen

- [DA12] Anton Donner und Christine Adler. "Von der Notfallrettung zum Massenansturm von Verletzten: Herausforderung Patientendisposition". In: *Notfall + Rettungsmedizin* (2012). Submitted in July 2012, review pending.
- [Don+12] Anton Donner, Javier Mulero Chaves, Chen Tang und Angels Via Estrem. "Communication and Data Management for Public Safety and Mass Casualty Incidents". In: *IEEE Wireless Communications Magazine* (2012). First Submission in Nov. 2011. Major revisions to be made to the manuscript.
- [DSM12] Anton Donner, Jawad Ahmed Saleemi und Javier Mulero Chaves. "Backhauling TETRA via Satellite Networks". In: *International Journal of Communication Systems* (2012). In preparation.
- [MEB12] Muhammad Muhammad, Stefan Erl und Matteo Berioli. *Efficient Synchronization of Multiple Databases Over Broadcast Networks*. In preparation. 2012.
- [Tan+12] Chen Tang, Javier Mulero Chaves, Stefan Erl und Anton Donner. "Synchronizing Distributed Databases in Heterogeneous Networks". In: *Distributed and Parallel Databases* (2012). Submitted in May 2012, review pending.

Abkürzungsverzeichnis

BGU	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik
BHP	Behandlungsplatz
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BRK	Bayerisches Rotes Kreuz
CORE	Common Open Research Emulator
CPISync	Characteristic polynomial interpolation-based synchronization
DBMS	Database Management System
DDBMS	Distributed Database Management System
DDBS	Distributed Database System
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DNS	Domain Name System
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High Speed Packet Access
IMUNES	Integrated Multi-Protocol Emulator/Simulator
LAN	Local Area Network
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
LTE	Long-Term-Evolution
MANV	Massenanfall von Verletzten und Erkrankten
NAT	network address translation
PRML	Protection & Rescue Markup-Language
SFSG	Staatliche Feuerweherschule Geretsried
SSDP	Simple Service Discovery Protocol
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
THW	Technisches Hilfswerk
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

Literaturverzeichnis

- [Ahr+08] Jeff Ahrenholz, Claudiu Danilov, Thomas R. Henderson und Jae H. Kim. "CORE: a real-time network emulator". In: *Proceedings IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*. San Diego, CA, USA, Nov. 2008.
- [AST02] Sachin Agarwal, David Starobinski und Ari Trachtenberg. "On the Scalability of Data Synchronization Protocols for PDAs and Mobile Devices". In: *IEEE Network* 16.4 (Juli 2002), S. 22–28.
- [Dat03] Chris J. Date. *An Introduction to Database Systems*. 8th edition. Addison Wesley, Aug. 2003. ISBN: 978-0321197849.
- [Deu09] Deutsches Institut für Normung e.V. *Rettungswesen – Begriffe*. Norm. Normenausschuss Rettungsdienst und Krankenhaus (NARK) im DIN und Normenausschuss Feuerwehrwesen (FNFW) im DIN. Vertrieb durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin. Feb. 2009.
- [Deu12] Deutsches Institut für Normung e.V. *Datenaustausch zwischen Informationssystemen in der zivilen Gefahrenabwehr*. Technische Regel. Vertrieb durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin. Juli 2012.
- [Erl+11] Stefan Erl, Chen Tang, Javier Mulero Chaves und Anton Donner. "Verfahren zum Synchronisieren der Datenbestände von Datenbanken. Verfahren zur Synchronisierung von verteilten Datenbanksystemen mit veränderlicher Topologie". Dt. Pat. 10 2011 018 878.9 (DE). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. 29. Apr. 2011.
- [Grä07] Gerd Gräff. *Bericht der Arbeitsgruppe "Massenanfall von Verletzten und Erkrankten – MANV" des Ausschusses "Rettungswesen"*. Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss Rettungswesen. Mainz, Nov. 2007. URL: http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/sicherheit/rettungswesen2/publikationen/ausschussrettungswesen/manv_11_2007.pdf.
- [HT06] Guido Hiertz und Spiro Trikaliotis. *Funknetze stricken - Gemeinsamkeiten und Unterschiede von WLAN und Mesh-Netzen*. Feb. 2006. URL: <http://heise.de/-223171>.
- [Ins12] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Standard 802.11-2012*. Mai 2012. URL: http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?vendor_id=4523.
- [Kan+06] K. G. Kanz, P. Hornburger, M. V. Kay, W. Mutschler und W. Schäuble. "mSTaRT-Algorithmus für Sichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von Verletzten". In: *Notfall + Rettungsmedizin* 9.3 (Mai 2006), S. 264–270.

- [Mar+10] J. Scott Marcus, John Burns, Val Jervis, Reinhard Wählen, Kenneth R. Carter, Imme Philbeck und Peter Vary. *Harmonisierung der PPDR Funkfrequenzen in Deutschland, Europa und weltweit*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Bad Honnef: WIK-Consult GmbH, Dez. 2010. URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/harmonisierung-ppdr-funkfrequenzen-deutschland-europa-weltweit,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- [Mes+11] M. Messelken u. a. "Der Minimale Notfalldatensatz MIND3". In: *DIVI 2.3* (2011). Deutscher Ärzte-Verlag, S. 130–135.
- [MTZ03] Yaron Minsky, Ari Trachtenberg und Richard Zippel. "Set Reconciliation with Nearly Optimal Communication Complexity". In: *IEEE Transactions on Information Theory* 49.9 (Sep. 2003), S. 2213–2218.
- [OV11] M.T. Oezsu und P. Valduriez. *Principles of Distributed Database Systems*. 3rd. Springer, 2011. ISBN: 978-1-4419-8833-1.
- [Tan+12] Chen Tang, Javier Mulero Chaves, Stefan Erl und Anton Donner. "Synchronizing Distributed Databases in Heterogeneous Networks". In: *Distributed and Parallel Databases* (2012). Submitted in May 2012, review pending.
- [TMD11] Chen Tang, Javier Mulero Chaves und Anton Donner. "Verfahren zum Synchronisieren der Datenbestände von Datenbanken. Automatisiertes Verfahren zur Wahl eines geeigneten Replikations- und Synchronisierungsalgorithmus". Dt. Patentanmeld. 10 2011 107 508.2 (DE). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. 15. Juli 2011.
- [TSA02] Ari Trachtenberg, David Starobinski und Sachin Agarwal. "Fast PDA Synchronization Using Characteristic Polynomial Interpolation". In: *Proceedings IEEE INFOCOM, New York City, NY, USA 3* (Juni 2002), S. 1510–1519.