

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

# Möglichkeiten und Grenzen datenbankgestützter telemedizinischer Feedback-Interventionen

**Thomas Herbert Maximilian Spittler**

Vollständiger Abdruck der von der  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Alexander W. Koch

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernhard Wolf
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Die Dissertation wurde am 15.04.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 12.09.2016 angenommen.



# Zusammenfassung

Das deutsche Gesundheitssystem hat trotz seiner hervorragenden Versorgung und dem Bestreben nach dem Erhalt eines bezahlbaren und qualitativ hochwertigen Gesundheitssystems in den letzten zwei Jahrzehnten mit einer Vielzahl an Gesetzesanpassungen und -änderungen seine Leistungsfähigkeit stark eingebüßt. Einerseits sind die Ausgaben immer weiter gestiegen, wobei die Kosten hin zu den Konsumenten über Zuzahlungen und Leistungsausschlüsse verlagert wurden. Andererseits hat sich die Qualität der medizinischen Versorgung vermindert. So werden beispielsweise Qualitätsunterschiede in der Behandlung weder gemessen noch honoriert. Um in Zukunft eine flächendeckend gleichbleibende Qualität der medizinischen Versorgung zu garantieren, sind u.a. politische und gesellschaftliche Veränderungen erforderlich. Zur Unterstützung dieses Prozesses können personalisierte und individualisierte telemedizinische Assistenzsysteme einen erheblichen Beitrag leisten.

Aufbauend auf den Ergebnissen einer mehrjährigen Forschungstätigkeit des Heinz Nixdorf-Lehrstuhls für Medizinische Elektronik sowie durch die Kooperation mit dem Heinz Nixdorf Institut in Paderborn im Rahmen des Projektes Kompass stellt diese Arbeit die Realisierung des telemedizinischen Assistenzsystems COMES<sup>®</sup> (Cognitive Medizinische Systeme) dar. Nach dem Beleuchten des Standes der Technik und der medizinischen Notwendigkeit werden alle relevanten Komponenten des telemedizinischen Assistenzsystems im Detail beschrieben. Grundlegende Experimente hinsichtlich der Systemstabilität und Wirksamkeit von COMES<sup>®</sup> werden durchgeführt und die Plattform für eine klinische Studie und den alltäglichen Einsatz vorbereitet. Besonders die individualisierte Feedback-Fähigkeit im Rahmen der Therapiebegleitung und die Verwendung moderner Data Mining Algorithmen zur Vorhersage der Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Komorbiditäten zeichnen COMES<sup>®</sup> aus. Im Gegensatz zu anderen Systemen, die sich nur auf wenige Erkrankungen beschränken und selten Datenanalyse oder Telekonsultation anbieten, überzeugt COMES<sup>®</sup> durch eine Vielzahl an Sensorik, vorhandene und leicht integrierbare Daten-Analyse-Algorithmen und der Möglichkeit der Integration externer Medizindienstleistungen. Somit kann die Behandlungsqualität gesteigert und der Arzt durch eine automatisierte Dokumentation in seiner Behandlungstätigkeit unterstützt werden. Letztendlich profitieren alle Akteure des Gesundheitswesens, beginnend beim Patienten und seinen Angehörigen über den Arzt bis hin zu Klinikverwaltung, Pflegeheimen und Krankenkassen vom Einsatz von Systemen wie COMES<sup>®</sup>.

# Abstract

Despite the excellent care and the endeavour to preserve an affordable and high-quality healthcare system, the German healthcare system severely lost its capabilities in the last two decades with a large number of law adaptations and legislative changes. On the one hand expenses increased on and on, whereas costs have been shifted to consumers via additional charges and exclusions of payments. On the other hand the quality of medical care decreased. Thus, for example, differences in quality of treatment are neither measured nor paid. In order to guarantee a nationwide consistent quality of the medical care in future, i.e. political and social changes are required. To support this process personalised and individualised telemedical assistance systems can provide a major contribution.

Based on the results of many years of research work of the Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik as well as by partnership with the Heinz Nixdorf Institut of Paderborn in the context of the research project Kompass this thesis presents the implementation of the telemedical assistance system COMES<sup>®</sup> (Cognitive Medical Systems). After describing the state of the art and the medical need all relevant components of the telemedical assistance system are elaborated on in detail. Basic experiments according to system stability and effectiveness of COMES<sup>®</sup> are conducted and the platform is prepared for clinical studies and daily use. Particularly the individualised feedback ability as part of therapy companion and the usage of modern data mining algorithms for prediction of probability of occurrence of certain co-morbidities is distinguished by COMES<sup>®</sup>. Compared with other systems which are limited to only a few diseases and which offer data analysis or tele-consultation rarely, COMES<sup>®</sup> convinces by a large number of sensors, available and easily integrated data analysis algorithms and the possibility of the integration of external medical services. Thus, the quality of treatment can be increased and the physician can be supported in his treatment by an automatized documentation. Finally, all actors of the healthcare system, beginning with the patient and his relatives over the physician until to clinic administrations, nursing home and health insurance companies benefit from the usage of systems like COMES<sup>®</sup>.

# Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle ganz herzlich bei allen bedanken, die es mir ermöglicht haben, diese Arbeit abzuschließen.

Zunächst gilt mein Dank meinem Doktorvater Prof. Bernhard Wolf für die interessante Themenstellung, die inspirierenden und motivierenden Gespräche und das offene Ohr bei allen auftretenden Problemen.

Außerdem möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Heinz Nixdorf-Lehrstuhls für Medizinische Elektronik bedanken, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen und das Arbeiten in angenehmer Atmosphäre ermöglichten. Hervorzuheben sind hierbei Herr Dr. Grothe und Herr Dr. Brischwein für die große Hilfe bei allen administrativen Angelegenheiten und das enorme Fachwissen, mit dem Sie mir zur Seite standen. Ebenso möchte ich Frau Prof. Friedrich anmerken, die mich stets fachlich unterstützte und mit der ich das gemeinsame Entwickeln von Ideen sehr genoss. Nicht unerwähnt lassen möchte ich Herrn Dr. Schmidhuber für seinen Weitblick und Herrn Ilchmann für seine informationstechnische Unterstützung. Außerdem möchte ich Danke sagen an Frau Franz für ihr Organisationstalent und an Herrn Ruppert für all die aufmunternden Worte und die schnelle, kompetente Prototypen-Erstellung.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern, meiner Familie und Uschi für ihre großartige Unterstützung und Liebe bedanken.

Thomas Spittler

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Danksagung</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>17</b>
2.1. Übersicht und Meta-Analyse telemedizinischer Systeme für den Hausgebrauch	19
2.2. Partnership for the Heart-Studie . . . . .	19
2.3. Medgate . . . . .	22
2.4. SHL Telemedicine . . . . .	24
2.5. Zusammenfassung . . . . .	26
<b>3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich</b>	<b>27</b>
3.1. Einführung in Datenbanksysteme . . . . .	27
3.1.1. Allgemeines zur Datenbanktheorie . . . . .	27
3.1.2. Aufbau und Funktionen eines Datenbanksystems . . . . .	29
3.2. Datenbankmodelle . . . . .	36
3.2.1. Entity-Relationship-Modell . . . . .	37
3.2.2. Hierarchische Datenbankmodelle . . . . .	39
3.2.3. Netzwerkdatenbankmodelle . . . . .	41
3.2.4. Das relationale Datenmodell . . . . .	42
3.2.4.1. Definition des relationalen Modells . . . . .	42
3.2.4.2. Die Umsetzung vom konzeptuellen in ein relationales Schema	43
3.2.4.3. Relationale Anfragemodelle . . . . .	45
3.2.5. Objektorientiertes Datenmodell . . . . .	49
3.2.6. Objektrelationales Datenmodell . . . . .	52
3.2.7. NoSQL . . . . .	54
3.3. Bewertung der verschiedenen Datenmodelle für die Telemedizin . . . . .	59
<b>4. Datenanalyse</b>	<b>62</b>
4.1. Zeitreihenanalyse . . . . .	62
4.2. Data Mining Verfahren . . . . .	65
4.2.1. Das KDD-Prozessmodell . . . . .	66

## Inhaltsverzeichnis

4.2.2.	Einsatzszenario für Data Mining Verfahren für ein telemedizinisches Assistenzsystem . . . . .	66
4.2.3.	Vorstellung einiger Data Mining Verfahren . . . . .	73
4.3.	Online Analytical Processing . . . . .	77
4.4.	Auswahl statistischer Verfahren . . . . .	78
4.4.1.	Durchführung eines statistischen Tests . . . . .	79
4.4.2.	t-Test . . . . .	80
4.4.3.	Rangsummentest . . . . .	81
4.4.4.	Vergleich von t-Test und Rangsummentest . . . . .	83
4.5.	Zusammenfassung . . . . .	83
<b>5.</b>	<b>COMES®- ein telemedizinisches Assistenzsystem</b>	<b>85</b>
5.1.	Aufbau und Architektur . . . . .	85
5.2.	Sensoren und Schnittstellen . . . . .	88
5.2.1.	Sensoren . . . . .	89
5.2.2.	Schnittstellen . . . . .	90
5.2.2.1.	Schnittstelle zum Nutzer . . . . .	90
5.2.2.2.	Schnittstelle zu medizinischen Geräten . . . . .	96
5.2.2.3.	Schnittstelle zum COMES® Center . . . . .	100
5.2.2.4.	Schnittstelle zum Medizinischen Call Center . . . . .	102
5.2.2.5.	Schnittstelle zu externen Datenbanken . . . . .	103
5.3.	COMES®-Backend . . . . .	103
5.3.1.	Datenbankstruktur . . . . .	103
5.3.2.	Technologien eines Webauftritts . . . . .	109
5.3.2.1.	HTML . . . . .	110
5.3.2.2.	CSS . . . . .	110
5.3.2.3.	PHP . . . . .	111
5.3.2.4.	JavaScript . . . . .	112
5.3.2.5.	Zend Framwork . . . . .	113
5.3.3.	Web-Service . . . . .	115
5.3.4.	Webfrontend . . . . .	125
5.3.4.1.	Modul Organisationsverwaltung . . . . .	127
5.3.4.2.	Modul Benutzerverwaltung . . . . .	129
5.3.4.3.	Modul Patientenverwaltung . . . . .	131
5.3.4.4.	Modul Geräteverwaltung . . . . .	132
5.3.4.5.	Modul Umfragen . . . . .	133
5.3.4.6.	Modul Nachrichten . . . . .	135
5.3.4.7.	Modul Dashboard . . . . .	137
5.3.4.8.	Modul Information . . . . .	137
5.3.4.9.	Modul Patientenmesswerte . . . . .	138
5.3.4.10.	Modul Report . . . . .	140
5.3.4.11.	Modul Empfehlung . . . . .	142
5.3.4.12.	Diabetes-Management (optional) . . . . .	144
5.3.5.	Smartphone Applikation . . . . .	147

## Inhaltsverzeichnis

5.3.5.1.	COMES <sup>®</sup> -Webfrontend für mobile Handheld-Geräte . . . . .	147
5.3.5.2.	Native COMES <sup>®</sup> -Applikation auf Basis des Betriebssystem Android . . . . .	149
5.3.6.	Interventions- und Feedbackmanagementsystem . . . . .	161
5.3.7.	Geräteverwaltung mittels RFID . . . . .	170
<b>6.</b>	<b>Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup></b>	<b>177</b>
6.1.	Untersuchung der Technik . . . . .	177
6.1.1.	Funkschnittstelle . . . . .	177
6.1.2.	Webservice und Backend . . . . .	182
6.1.3.	Evaluation des COMES <sup>®</sup> -Webfrontend für mobile Geräte . . . . .	183
6.2.	COMES <sup>®</sup> für Patienten . . . . .	186
6.2.1.	Frühzeitige Erkennung am Beispiel Depression und Diabetes . . . . .	186
6.2.1.1.	Zusammenhang von Depression und Diabetes . . . . .	186
6.2.1.2.	Klassifikationsalgorithmus und Simulation . . . . .	187
6.2.2.	Feldtest zur Steigerung der Bewegungsaktivität mit COMES <sup>®</sup> . . . . .	191
<b>7.</b>	<b>Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES<sup>®</sup></b>	<b>196</b>
7.1.	Potential und Grenzen von COMES <sup>®</sup> . . . . .	196
7.2.	Bewertung von COMES <sup>®</sup> . . . . .	203
7.2.1.	Technische Bewertung . . . . .	203
7.2.2.	Bewertung gemäß eines „Assessment Models“ . . . . .	206
7.3.	Datensicherheit und rechtliche Aspekte . . . . .	213
7.4.	Akzeptanz von telemedizinischen Assistenzsystemen und ökonomisch volks- wirtschaftliche Betrachtung . . . . .	213
7.5.	Ethische Betrachtung in der Telemedizin . . . . .	216
<b>8.</b>	<b>Ausblick</b>	<b>219</b>
8.1.	Erweiterungen des Systems . . . . .	219
8.1.1.	Medizinische Geräte . . . . .	219
8.1.2.	Datenverarbeitung . . . . .	220
8.2.	Anwendungsgebiete . . . . .	221
<b>A.</b>	<b>COMES<sup>®</sup>-Datenbankstruktur</b>	<b>223</b>
	<b>Publikationen</b>	<b>225</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>228</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>232</b>
	<b>Literatur</b>	<b>233</b>

# 1. Einleitung

In einer Gesellschaft, in der schon jetzt über 20 Prozent der Menschen älter als 65 Jahre sind, steht der Wunsch, gesund zu sein, immer mehr im Vordergrund. Dabei ist der Begriff Gesundheit nicht einfach zu beschreiben. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definierte 1948 die Gesundheit als Zustand des vollkommenen körperlichen, sozialen und geistigen Wohlbefindens und nicht nur als Abwesenheit von Krankheit und Schwäche [1]. Diese Definition beschreibt eine Idealvorstellung, die viele Menschen von der Medizin erwarten. Wirklichkeitsgetreuer erscheint hier die Aussage des Philosophen und Psychiaters Karl Jaspers: „Leben, langes Leben, Fortpflanzungsfähigkeit, körperliche Leistungsfähigkeit, Kraft, geringe Ermüdung, keine Schmerzen“, ein Zustand, in dem man den Körper „abgesehen von lustvollem Daseinsgefühl“ kaum wahrnimmt [2].

Der Blick in die Vergangenheit macht deutlich, dass sich Menschen schon seit mehreren tausend Jahren mit dem Begriff Gesundheit auseinander zu setzen versuchen. Dabei reicht die Bandbreite von göttlicher Billigung über die Eigenverantwortung gegenüber den Körpersäften bis hin zu einer rein naturwissenschaftlichen und auch noch heute in der Medizin gängigen Betrachtung, dass „das menschliche Befinden objektivier- und meßbar sei“ [2]. Eine noch einfachere Begriffsbestimmung hat der französische Physiologe und Chirurg René Leriche Anfang des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Er reduziert die Gesundheit auf das „Schweigen der Organe“. Der Mensch fühlt sich gesund, wenn er seinen Körper nicht wahrnimmt. Etwas konkreter beschreibt Hans Halter Gesundheit dahingehend, dass der unvollkommene und alternde Körper wie eine Maschine zu warten sei und man ihn „regelmäßig zum ärztlichen TÜV bringe(n) und verschlissene Teile vom Fachmann austausche(n)“ lassen müsse [3]. Dadurch stünde einem hohen Lebensalter nichts mehr im Wege.

Modernere Betrachtungsweisen gehen davon aus, dass nicht nur die Gesundheit, sondern auch die Krankheit zum Leben gehören, und als wellenförmiges Phänomen auftreten. So ist nach Carl Gustav Carus, Maler und Schriftsteller, derjenige gesund, welcher nach gelegentlicher Krankheit wieder genest, also derjenige, für den Krankheit zum Normalen gehört. Prof. Bergdolt fasst das Verständnis von Gesundheit folgendermaßen zusammen: „Gesundheitsstörungen gehören naturgemäß und von vornherein zum Leben. Ihre Wertung ist von komplexester Art. Wer glaubt, man kann sie allein messend begreifen - rein naturwissenschaftlich, rein ökonomisch -, steht im Verdacht, ein sehr reduziertes Menschenbild zu haben.“ [2].

Gesundheit und Krankheit gehören demnach unweigerlich zum menschlichen Leben. Es liegt aber im Interesse eines jeden einzelnen, bei einer Erkrankung geheilt zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Sicherstellung der medizinischen Versorgung notwendig. Dieser Aufgabe ist nur die Solidargemeinschaft im Rahmen eines Gesundheitssystems gewachsen; denn eine solche

## 1. Einleitung

Ausgabenträger	Mill. EUR	in %
Öffentliche Haushalte	13.655	4,9
Gesetzliche Krankenversicherung	160.854	57,8
Soziale Pflegeversicherung	20.312	7,3
Gesetzliche Rentenversicherung	4.014	1,4
Gesetzliche Unfallversicherung	4.459	1,6
Private Krankenversicherung	25.957	9,3
Arbeitgeber	11.592	4,2
Private Haushalte / private Organisationen ohne Erwerbszweck	37.504	13,5
<b>Insgesamt</b>	<b>278.345</b>	<b>100</b>

**Tab. 1.1.:** Gesundheitsausgaben nach Ausgabenträgern 2009 [5]

Versorgung soll nicht nur vermögenden Personen, sondern jedem Staatsbürger zugänglich gemacht werden. Es ist demnach oberste Aufgabe einer Gesellschaft, für die Erhaltung der Gesundheit ihrer Mitglieder Sorge zu tragen.

Die Grundzüge des deutschen Gesundheitssystems sind 1883 entstanden, als das Parlament unter der Federführung von Reichskanzler Otto von Bismarck die gesetzliche Krankenkasse einführt. Dieses „Bismarcksche System“ wurde durch die Betriebsunfallversicherung (1884), die Rentenversicherung (1889), die Arbeitslosenversicherung (1927) sowie die Pflegeversicherung (1994) sukzessive erweitert.

Nach dem zweiten Weltkrieg war das Gesundheitssystem von einer stetig wachsenden Zahl von Leistungserbringern sowie Behandlungsleistungen geprägt. Fielen 1955 noch 832 Bürger auf einen Arzt, so waren es 2007 nur noch 261 Bürger [4]. Damit verbunden war eine Zunahme ärztlicher Fachrichtungen. Dieser Zuwachs hatte zur Folge, dass sich auch die Gesamtausgaben für das Gesundheitswesen gemessen am Bruttoinlandsprodukt um fast 70% in den letzten 40 Jahren erhöht haben. Wie aus Tabelle 1.1 ersichtlich ist, werden rund 60% der Gesamtausgaben von den gesetzlichen Krankenkassen abgedeckt. Der Rest entfällt auf die private Krankenversicherung, die Sozialversicherung und andere.

In den 70er Jahren erkannte die Politik den rasanten Ausgabenzuwachs und versucht seitdem, diesem mit Gesetzen wie dem Krankenversicherungs-Kostendämpfungsgesetz entgegenzuwirken. Dieser Trend schlägt sich auch in der Anzahl der Reformgesetze nieder. So wurden

## 1. Einleitung

zwischen 1977 und 2010 15 Gesetzesänderungen und -ergänzungen durchgeführt. Obschon unterschiedliche Regierungen beteiligt waren, ist der „Erhalt eines bezahlbaren und qualitativ hochwertigen Gesundheitssystems, welches auch zukünftigen Anforderungen, wie sie durch die absehbare Alterung der Gesellschaft entstehen, gewachsen ist“ [6], Ziel aller Bestrebungen. In der Umsetzung versuchte man jedoch, die Ausgaben über Zwangsrabatte, Preiskontrollen oder Festbudgets zu kürzen, die Einnahmen durch erhöhte Selbstbeteiligungen oder höhere öffentliche Zuschüsse zum System zu steigern und die Kosten hin zu den Konsumenten über Zuzahlungen und Leistungsausschlüsse zu verlagern. Dies führte jedoch zu höchst komplexen und aufwändigen Regulierungen [7].

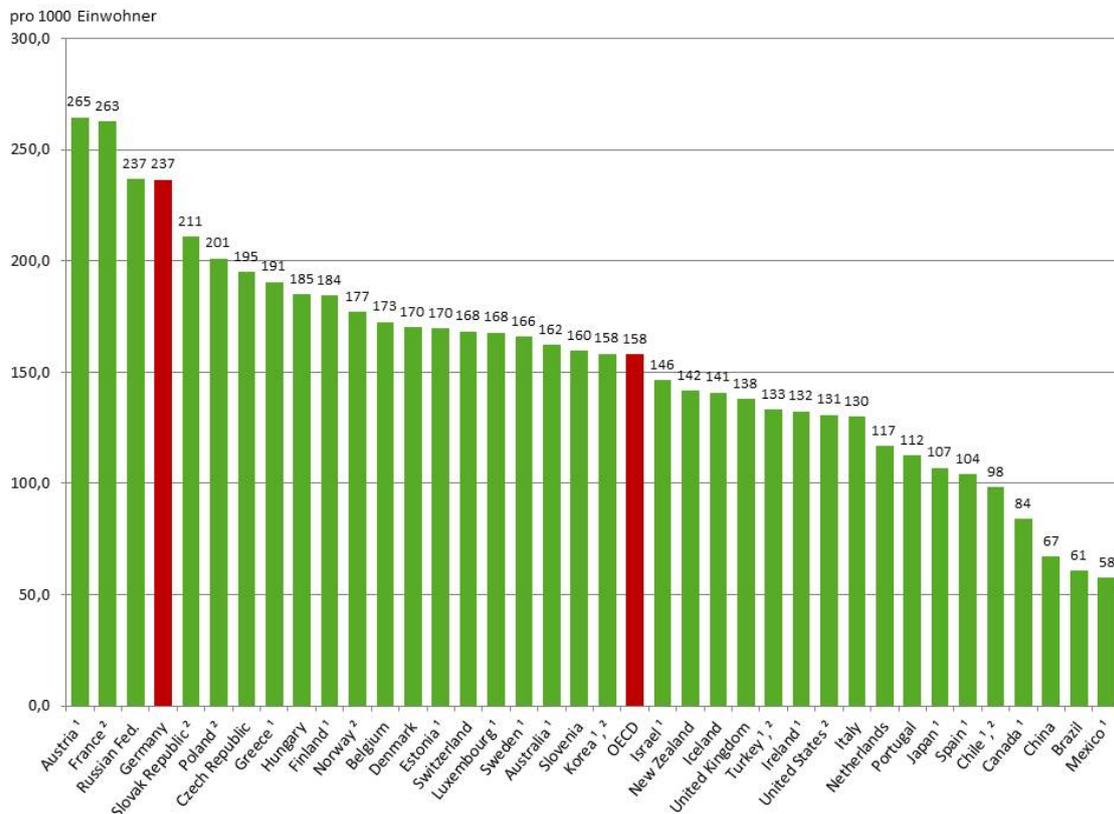
Nach dem zweiten Weltkrieg erreichte das deutsche Gesundheitssystem in kurzer Zeit ein hohes Niveau. Für jeden Bürger stand eine ausreichende gesundheitliche Versorgung zur Verfügung. Doch im Laufe der Zeit änderten sich unter anderem aufgrund demografischer Entwicklungen die Rahmenbedingungen. Durch eine schwindende Arbeitnehmerschaft bei gleichzeitiger Zunahme von Rentnern und selbstständigen Erwerbstätigen, die keine Beiträge zur gesetzlichen Krankenversicherung bezahlen, wurden die Krankenkassen mit höheren Kosten und niedrigeren Beiträgen konfrontiert. Als Konsequenz wurden die Kassenbeiträge deutlich erhöht.

Die geschilderte Finanzierungsproblematik ist nicht die einzige Herausforderung, der sich der Staat künftig stellen muss. Vielmehr wurde in den letzten Jahrzehnten durch die Fokussierung auf Kostendämpfung im Gesundheitswesen eine der wichtigsten Fragen in den Hintergrund gedrängt: welchen Mehrwert zieht der deutsche Bundesbürger aus dem €280 Milliarden schweren Gesundheitswesen? Welche Qualität darf er erwarten? Man möchte davon ausgehen, dass bei einer so großen Menge an Geld die Qualität der medizinischen Versorgung und Behandlung ausgezeichnet sein müsste. Doch wie in [7] beschrieben, bestehen erhebliche Defizite in der erzielten Ergebnisqualität. Hohe Kosten bürgen nicht für eine gute Qualität; ebenso wenig werden die Behandlungsergebnisse durch einen breiten Zugang zur Versorgung oder durch ein gutes Angebot zwingend besser. Denn diese hängen maßgeblich von der Qualität der Behandlung ab. Kaum einem der Akteure, wie Patienten, Krankenkassen oder Leistungserbringer, sind die Qualitätsunterschiede in der Behandlung bekannt. Dabei könnte eine Verbesserung und Weiterentwicklung der Leistungen zu einer signifikanten Steigerung des Nutzens für die Patienten führen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Verbesserung der Ergebnisqualität der einzige Weg, Kosten nachhaltig zu kontrollieren. Denn „gute Gesundheit ist naturgemäß kostengünstiger als schlechte Gesundheit“ [7].

Das deutsche Gesundheitswesen in seiner jetzigen Form krankt. Dass dieser Umstand auch den Bürgern immer bewusster wird, zeigt eine Umfrage der Bertelsmann-Stiftung aus dem Jahre 2007. Dieser zufolge erwarten 89 % der Befragten eine Erhöhung der Krankenkassenbeiträge, 62 % eine Minderung des Leistungskatalogs und 71 % eine Verschlechterung der medizinischen Qualität [8]. Auffallend ist auch, dass die stationäre Versorgung seit 1990 mit wenigen Ausnahmen stetig zunimmt, obwohl es aufgrund des technologischen Fortschritts immer mehr Möglichkeiten zur ambulanten Behandlung gibt. So hat Deutschland im internationalen OECD-Vergleich nach Österreich und Frankreich mit 237 Fällen pro 1000 Einwohner

## 1. Einleitung

(2009) die höchste Anzahl an Krankenhausfällen (vgl. Abbildung 1.1). Ebenso erfährt die ambulante Versorgung eine Steigerung der Arztkontakte, im Durchschnitt 17,7 pro Jahr. Dies wirkt sich auch auf die zur Verfügung stehende Behandlungszeit aus, die lediglich bei acht Minuten liegt [9]. Dabei werden die niedergelassenen Ärzte geradewegs dazu gezwungen, ihre Fallzahlen aufgrund der niedrigen Vergütungssätze pro Fall zu erhöhen.



**Abb. 1.1.:** Krankenhausfallzahlen innerhalb der OECD 2009 [10]

- 1: Gesunde Neugeborene werden ausgeschlossen (zwischen 3-6 % aller Entlassungen)
- 2: Beinhaltet Entlassungen am selben Tag

Ferner ist zu berücksichtigen, dass im deutschen Gesundheitswesen strikt zwischen ambulanter und stationärer Versorgung getrennt wird. Fachärzte sind sowohl in Krankenhäusern als auch in niedergelassenen Facharztpraxen tätig. Jedoch arbeiten diese unabhängig voneinander. Das hat zur Folge, dass unnötige Kosten aufgrund doppelter Infrastruktur und teilweise unsteter Behandlungsergebnisse anfallen.

Eine weitere negative Entwicklung im deutschen Gesundheitswesen ist trotz steigender Arztkontakte der viel diskutierte Ärztemangel. Ob es nun tatsächlich einen Ärztemangel gibt oder ob es sich nur um eine Verteilungsproblematik handelt, wie es der Spitzenverband der Gesetzlichen Krankenkassen zu erklären versucht, ist wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

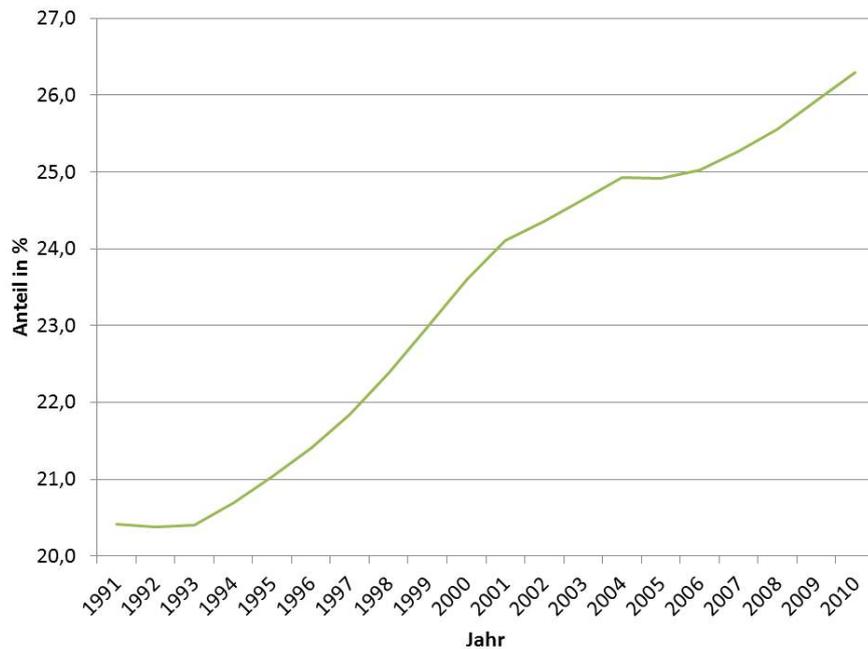
## 1. Einleitung

Nach Adler und von der Knesebeck ist vorrangig der Ärztemangel zu ermitteln, der sich durch „den Umfang an ärztlichem Personal, der für eine angemessene und zweckmäßige ärztliche Versorgung der Bevölkerung erforderlich ist“, definiert [11]. Um diesen bestimmen zu können, bedarf es jedoch der Festlegung noch unbekannter Parameter mit Hilfe wissenschaftlicher Untersuchungen. Nichtsdestotrotz legen einige Statistiken einen Ärztemangel trotz steigender Arztzahlen (Zuwachs um 2,1 Prozent von 2009 auf 2010) nahe. Auf der einen Seite lässt die Zunahme medizinischer Möglichkeiten die Anzahl spezialisierter Ärzte notwendig erscheinen. Auf der anderen Seite ist aufgrund des demografischen Wandels der Bedarf an medizinischen Leistungen erhöht und damit verbunden der Bedarf an mehr Ärzten. Betrachtet man den prozentualen Anteil der deutschen Bevölkerung, die 60 Jahre oder älter sind, so ergibt sich in den letzten 20 Jahren ein Zuwachs um 5,9 Prozentpunkte auf 28,8% im Jahr (vgl. Abbildung 1.2). Schließlich ist in den letzten Jahren ein deutlicher Trend zur Arbeitszeitverkürzung innerhalb der Ärzteschaft, wie in vielen anderen Branchen auch, zu verzeichnen. So gibt die Bundesärztekammer, gestützt auf Daten des Statistischen Bundesamtes, an, dass im Zeitraum zwischen 2000 und 2007 die Anzahl der berufstätigen männlichen Ärzte zwar um 0,8% anstieg, die geleisteten Wochenarbeitsstunden aber um 6,2% zurückgingen. Noch deutlicher wirkt sich dies bei den berufstätigen weiblichen Ärzten aus. Hier ist im selben Zeitraum ein Ärztezuwachs von 17,1% zu verzeichnen, wohingegen das Volumen der Wochenarbeitsstunden nur um 9,1% zunimmt [12]. Es scheint sich hierbei um einen allgemeinen Trend zur Verkürzung der Arbeitszeit zu handeln, da viele Ärzte ihren Wunsch nach Arbeitszeitverkürzung noch durchsetzen wollen. Vor allem bei Ärztinnen ist zu erkennen, dass sie kürzere, familienfreundliche Arbeitszeiten anstreben werden. Da sich ein kontinuierlicher Anstieg der Ärztinnen bei den Arztzahlen abzeichnet, könnte dies besonders in den ländlichen Regionen dazu führen, dass junge Ärzte nur unter der Prämisse einer Arbeitszeitverkürzung ihren Beruf ausüben würden. Dies wiederum würde die zur Verfügung stehenden ärztlichen Gesamtarbeitszeiten verkürzen und letztendlich das Angebot an Ärzten weiterhin verknappen.

Dass es bereits einen akuten Ärztemangel gibt, lässt sich unter anderem daran erkennen, dass viele Arztpraxen vor allem in ländlichen Gegenden keinen Nachfolger finden. Nach Zahlen der Kassenärztlichen Bundesvereinigung mussten 2010 rund 11 % der Hausärzte ihre Praxen ohne Nachfolger schließen [13]. Dass dies ein schmerzlicher Wegfall dringend benötigter ambulanter Versorgung vor Ort ist, lässt sich nicht leugnen. Zieht man nun auch noch den Wegzug junger Menschen aus ländlichen Gegenden in die Großstädte in Betracht, so ist das Schließen hausärztlicher Praxen um so schmerzlicher für die alternde Landbevölkerung. Denn diese müssen immer weitere Strecken für einen Arztbesuch auf sich nehmen, oft ohne eigenes Auto oder ausgebauten Nahverkehr.

Neben den bereits genannten gibt es noch eine Vielzahl weiterer negativer Aspekte des derzeitigen Gesundheitssystems. Doch wurden zur Verdeutlichung der Notwendigkeit dieser Arbeit nur die gravierendsten Missstände dargelegt. Die Frage, welche Erwartungen an ein künftiges Gesundheitssystem gestellt werden können und müssen, ist nun die nächste logische Konsequenz. Die Antwortmöglichkeiten dazu sind facettenreich und unterschiedlich. Zur Einordnung dieser Arbeit in den Gesamtkontext sollen und können hier im Folgenden lediglich Denkanstöße dazu gegeben werden.

## 1. Einleitung



**Abb. 1.2.:** Anteil der Einwohner Deutschlands, die zum jeweiligen Jahresende 60 Jahre oder älter sind

Ziel aller Bestrebungen sollte ein „Gesundheitssystem mit hoher Nutzenstiftung“ [7] sein. Strukturen, Organisationen, Rollen und die Art des Wettbewerbs müssen sich am Nutzen für den Patienten orientieren. Bisher hat sich der Gesetzgeber darauf konzentriert, die „Kosten zu verlagern und die Steigerung der Versicherungsbeiträge niedrig zu halten, anstatt die Gesundheit zu verbessern“ [7]. Wie in [7] beschrieben, sollte ein nutzerorientiertes System nach Krankheitsbildern der Patienten organisiert und die Versorgung mit interdisziplinäre Teams durchgeführt werden. Zudem ist es nötig, die einzelnen Versorgungsbereiche (ambulant, stationär, rehabilitativ) zusammenzuführen. Eine intensive Vernetzung von Beteiligten der Primärversorgung mit Pflegediensten, sozialen Diensten und anderen Dienstleistern kann nur von Vorteil sein. Durch Messung und Veröffentlichung der anonymisierter Behandlungsergebnisse soll mehr Wettbewerb und eine bessere Versorgung des Patienten erreicht werden. Schließlich ist entscheidend, dass der Patient selbst wesentlich mehr in die Gesundheitsversorgung mit eingebunden wird und sich aktiv am Genesungs- sowie Vorsorgeprozess beteiligt. Dies beginnt bei der Auswahl besonders guter Leistungserbringer, setzt sich fort in der Auseinandersetzung mit der eigenen Erkrankung und mündet in der Befolgung ärztlicher Therapieanweisungen sowie dem Interesse an deren Behandlungsunterlagen. Die Emanzipation des Patienten ist längst überfällig.

Für solch einschneidende Änderungen im Gesundheitswesen sind in Deutschland die gesetzlichen Weichen schon (teilweise) gestellt worden. Die letzten Gesetzesänderungen haben

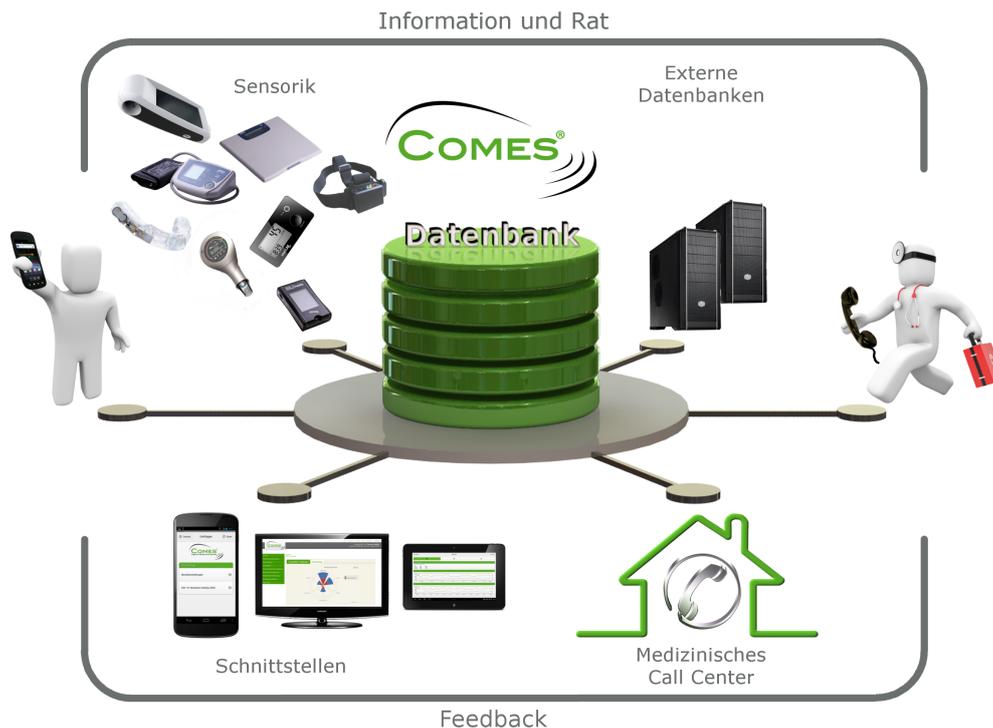
## 1. Einleitung

den Weg in die richtige Richtung gezeigt. So ist beispielsweise das Vergütungskonzept von der bisherigen Einzelleistungsvergütung für unterschiedliche Leistungserbringer hin zu einer pauschalen Vergütung für die gesamte Behandlung eines Krankheitsbildes schon teilweise umgesetzt worden. Somit rückt das Krankheitsbild in seiner Gesamtheit in den Fokus. Zudem werden einzig durch die Einzelleistungsvergütung motivierte, mehrfache Arztbesuche zur Lösung ein- und desselben Problems minimiert. Schließlich sollte das Ziel ein Vergütungssystem sein, das nicht Quantität, sondern vielmehr Ergebnisqualität belohnt und das gesamte Krankheitsbild betrachtet. Es liegt nun an den Akteuren, ihre Chancen wahrzunehmen. Hilfestellung kann hier auch die Informationstechnologie leisten. Sie bietet Möglichkeiten an, die vielen Beteiligten noch nicht bewusst sind. Noch bestehen viel zu viele unterschiedliche und nicht kompatible Softwarepakete und Datenstandards. Dabei werden Datenbanken benötigt, die alle vorhandenen Patienteninformationen, wie Messwerte, Bilder und sozioökonomische Daten zusammenführen. Leider sind in Deutschland die Bedenken bezüglich des Datenschutzes noch immer groß. Selbstverständlich ist es wichtig, persönliche Informationen zu schützen und dem Missbrauch vorzubeugen. Doch müssen auch die Menschen verstehen lernen, dass der Mehrwert beim Austausch von Patientendaten zwischen den Leistungserbringern enorm sein wird [7]. Dass immer mehr Menschen durchaus eine positive Einstellung gegenüber moderner Informationstechnologie im Gesundheitswesen aufweisen, zeigt eine unter 1000 Personen von TNS Infratest im Auftrag des Software-Konzerns Microsoft durchgeführte Umfrage. Es heißt dort: 80 Prozent der Bürger sind davon überzeugt, dass die Kommunikation zwischen Hausarzt, Facharzt und Patient durch moderne Informationstechnologie vereinfacht und die Versorgung in ländlichen Regionen verbessert werden kann [14].

Ein wichtiges, effektives und in der Bevölkerung schon teilweise akzeptiertes Mittel, um das deutsche Gesundheitssystem zukunftstauglich zu gestalten, sind demnach personalisierte und individualisierte telemedizinische Assistenzsysteme. Als Beispiel für die Akzeptanz derartiger Telemedizinssysteme kann die Telekardiologie angeführt werden, womit schon heute die Herzaktivität auch ohne Arztbesuche kontrolliert wird. Die „Telemedizin ermöglicht oder unterstützt in Überwindung räumlicher Entfernungen medizinische Dienstleistungen durch die kombinierte Anwendung von Telekommunikation und Informatik (Telematik).“ [15]. In der Verknüpfung von medizinischen Sensoren mit elektronischen Medien, wie beispielsweise Funkmodulen, die in der übrigen technischen Welt in den vergangenen Jahrzehnten bereits enorme Effizienzsteigerungen erzeugt haben, stecken beachtliche Kosteneinsparungs- und Qualitätspotenziale im medizinischen Bereich [16]. Durch die präzise sensorische Erfassung biomedizinisch relevanter Daten und durch die Möglichkeit einer Intervention mit Hilfe entsprechender autonomer Systeme können in Verbindung mit telematisch orientierten Datenbanken individualisierte und personalisierte Diagnose- und Therapiekonzepte realisiert werden. Es ist somit möglich, komplexe gesundheitliche Zusammenhänge zu analysieren.

Am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik wird schon seit über zehn Jahren an dieser Thematik geforscht [17]. Die Zielsetzung lautet, eine medizinische Diagnose und Intervention jederzeit und an jedem Ort zu ermöglichen. Intelligente Datenbanken sind dabei ein wichtiger Pfeiler, um eine auf jede Person individuell zugeschnittene Diagnose stellen und entsprechende Therapie einleiten zu können. Die Verwirklichung dieses Gedankens mündet im

## 1. Einleitung



**Abb. 1.3.:** COMES<sup>®</sup> Plattform zur telemedizinischen Übertragung, nach [18]

Projekt COMES<sup>®</sup> - Cognitive Medizinische Systeme -, wie es in Abbildung 1.3 schematisch dargestellt ist.

COMES<sup>®</sup> ist so konzipiert, dass es für jede Person, sei es Arzt oder Patient, sei sie jung oder alt, leicht zu handhaben ist. Ein Mobiltelefon, im Speziellen ein Smartphone, ein herkömmliches Festnetztelefon oder ein moderner HbbTV-fähiger Fernseher dienen als Schnittstelle zwischen Patient, Arzt und COMES<sup>®</sup>. Die Daten werden sicher übertragen und zentral gespeichert. Somit können sie von jedem Ort mit Internetzugang eingesehen werden. Dies kann beispielsweise die Hausarztpraxis sein, wodurch die Routinearbeit des Arztes erleichtert wird und er sich auf eine optimale Behandlung des Patienten konzentrieren kann.

Mit einer beliebig erweiterbaren Palette an medizinischen Sensoren, wie etwa Blutdruckmessgerät, Waage, Blutzuckermessgerät, Spirometer u.v.m., kann der allgemeinärztliche Diagnosebedarf nahezu vollständig abgedeckt werden. Ein lernendes Expertensystem bietet Hilfestellungen und ermöglicht eine gezielte Behandlung durch den Arzt.

Auf der einen Seite erfährt der Patient die Sicherheit, im Bedarfsfall jederzeit Hilfe und Interventionen zu erhalten. Dieses Sicherheitsgefühl ist nicht nur für ältere Patienten und chronisch Kranke wichtig, ebenso für Patienten mit vorübergehenden Befindlichkeitsstörungen. Auf der anderen Seite können im Bedarfsfall zeitnahe und somit kostensparende Behandlungen erfolgen.

## 1. Einleitung

Durch den Einsatz einer personalisierten und individualisierten Telemedizin entsteht eine genauere Abbildung vieler Krankheitsbilder, was eine gezieltere und bessere Behandlung erlaubt. Verschiedene in COMES<sup>®</sup> integrierte Methoden, wie die Mustererkennung mit Hilfe des Data Mining, ermöglichen dem Patienten, mit seiner Krankheit optimal umzugehen, da auf bekannte Krankheitsverläufe zurückgegriffen wird. Das Einbinden externer Datenbanken erzeugt zudem einen erheblichen Wissenszuwachs und fördert den Therapieerfolg.

Interventionen dienen nicht nur als therapeutische Maßnahme, sondern auch als präventive. Wie in dieser Dissertation herausgearbeitet wird, sind beide in COMES<sup>®</sup> vereint. So erhält der Anwender gezielt Informationen darüber, wie er gewisse Risiken minimieren, bspw. einem Herzinfarkt vorbeugen kann. Mit Hilfe unterschiedlicher Motivationstechniken, die speziell auf den Anwender zugeschnitten sind, führt der Patient unliebsame Therapiemaßnahmen gewissenhafter aus.

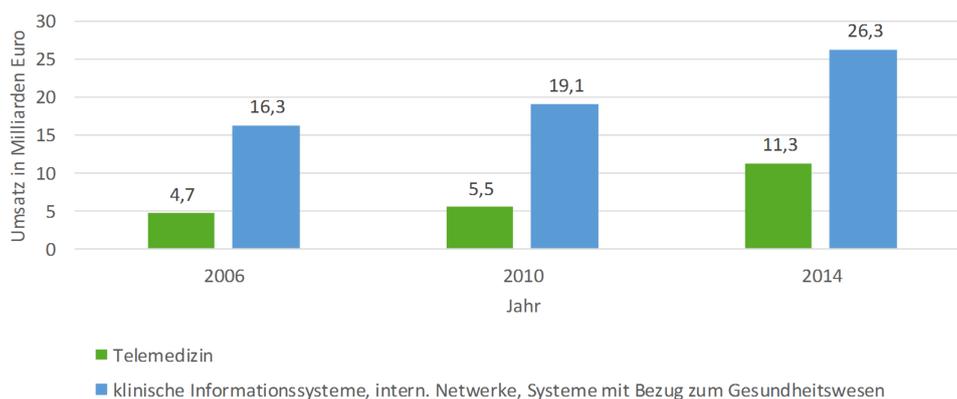
Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> bietet dem Patienten, dem behandelnden Arzt oder dem sorgenden Angehörigen die Möglichkeit, sich über den Krankheitsverlauf und das Wohlbefinden oder entsprechende Therapiemaßnahmen zu informieren. Mit Hilfe moderner informationsverarbeitender Methoden ist es zudem möglich, auf Grundlage bestimmter medizinischer Fragestellungen Aussagen oder Wahrscheinlichkeiten über das Auftreten von Assoziationen zwischen verschiedenen Krankheitsbildern zu treffen. So könnte beispielsweise die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von depressiven Symptomen bei Diabetes-Typ-2-Patienten bestimmt werden. Damit ist es möglich, frühzeitig vorbeugende Maßnahmen zur Verhinderung der bei dieser Patientengruppe entstehenden depressiven Symptomatik zu ergreifen.

Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, den systemischen Aufbau eines telemedizinischen Assistenzsystems wissenschaftlich zu beleuchten und anschließend zu realisieren. Besondere Beachtung wird dabei auf die Handhabbarkeit, die Interpretation der Daten, den Aufbau und die Methoden interaktiver Datenbanken sowie die Feedback-Fähigkeit des Systems gelegt. Das entwickelte System soll später die Patienten bei ihrer Therapie helfend begleiten und motivieren. Ebenso soll ein Mehrwert durch evidenzbasierte Hintergrundinformationen sowohl für den Patienten als auch den behandelnden Arzt geschaffen werden. Soweit möglich wird auf bereits vorhandene Technologien, z.B. im Bereich der Telemetrie oder Datenverarbeitung, zurückgegriffen. Diese werden jedoch auf die individuellen Bedürfnisse dieses Projekts angeglichen. Als erster Schritt eines telemedizinischen Assistenzsystems wird in diesem Projekt die Datenbankstruktur, die Benutzeroberfläche sowie die Rückgabe von manuellem und automatisiertem Feedback realisiert. Anzumerken ist, dass der Schwerpunkt der Arbeit nicht in einem technologieorientiertem Vorgehen liegt, sondern darin, ein in der Theorie teilweise existierendes Konzept in die Praxis zu überführen. Teile der vorliegenden Dissertation werden innerhalb des von der Heinz Nixdorf Stiftung geförderten Forschungsprojektes KOMPASS bearbeitet.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

Die Telemedizin hat in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt. Dies lässt sich vor allem an der Anzahl der geförderten Projekte ablesen und mündet schließlich in der Regierungserklärung der Bundeskanzlerin Angela Merkel vom 29. Januar 2014. Darin betont sie, dass „die Entwicklung der Telemedizin im Übrigen eine zentrale Rolle“ für die Sicherung der hohen Qualität der medizinischen Versorgung gerade im ländlichen Raum spiele [19].

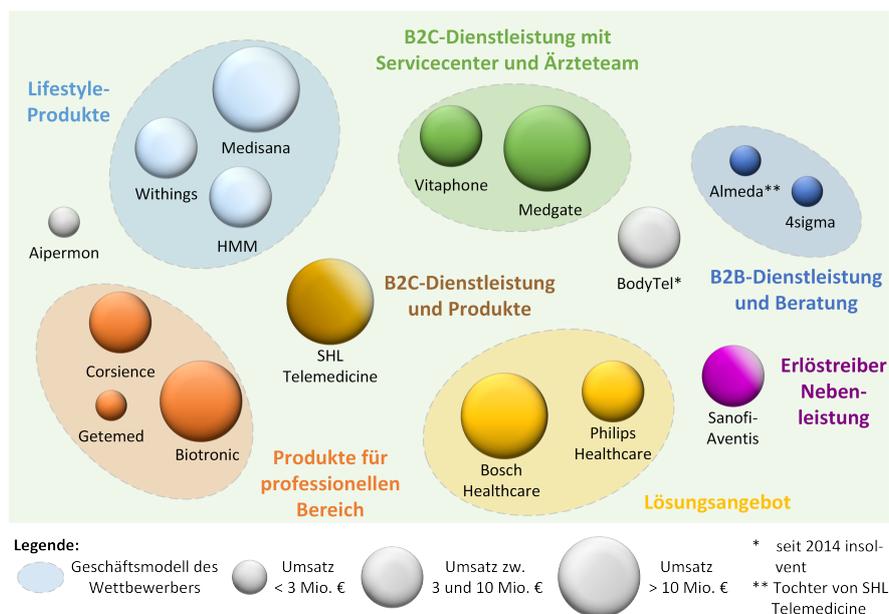
Nichtsdestotrotz ist der Markt für Telemedizin in Europa noch relativ klein. Wie in Abbildung 2.1 zu sehen, wurde 2006 der Umsatz mit Telemedizin in Europa auf etw 5 Mrd. Euro beziffert. Im Jahre 2011 wurde für 2014 eine Umsatzsteigerung um etwa 140 % auf 11,3 Mrd. Euro vorhergesagt [20].



**Abb. 2.1.:** Umsatzentwicklung auf dem EU-Gesundheitsmarkt in den Jahren von 2006 bis 2014 (in Milliarden Euro) [20]

Mittlerweile versuchen viele verschiedene Telemedizin-Anbieter, die Chance zu ergreifen und am Markt Fuß zu fassen. Dabei ist das Spektrum der Geschäftsmodelle breit gefächert. Neben dem Angebot von Lifestyle-Produkten bis hin zu professionellen medizinischen Produkten existieren B2B- und B2C-Dienstleistungen und Beratungen sowie komplette Lösungsangebote. Abbildung 2.2 zeigt einen Überblick über die 16 bekanntesten am deutschen Markt tätigen Telemedizin-Unternehmen sowie eine grobe Einteilung derer Geschäftsmodelle und -bereiche. Dies ist mit Hilfe einer multidimensionalen Skalierung dargestellt. Anzumerken sind die Firmen BodyTel, die im Juni 2014 Insolvenzantrag gestellt haben, sowie Almeda, die seit 2013 ein Tochterunternehmen des israelischen Telemedizin-Unternehmens SHL Telemedicine sind.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik



**Abb. 2.2.:** Wettbewerber im Bereich Telemedizin, dargestellt in einer multidimensionalen Skalierung, aktualisiert nach [21]

Wie deutlich zu erkennen ist, sind die Wettbewerber im Bereich der Telemedizin sehr heterogen. Dies ist nicht nur durch die unterschiedlichen Umsatzzahlen, sondern hauptsächlich durch das breite Spektrum an Geschäftsmodellen ersichtlich. Die einzelnen Geschäftsmodelltypen unterscheiden sich vor allem bezüglich der angebotenen Marktleistung. Aber auch Distributionskanäle und Leistungsverrechnung sind unterschiedlicher Natur. Als Distributionskanal benutzen die meisten Anbieter von telemedizinischen Produkten den anonymen Internetvertrieb, den Vertrieb über den Fachhändler für Medizintechnik oder den Direktvertrieb. Wenige Unternehmen vertreiben ihre Produkte mit Hilfe von Krankenversicherungen, niedergelassenen Ärzten, Krankenhäuser, Apotheken, Sanitätshäuser und Kommunikationsunternehmen. Derzeit nicht erkennbar ist ein Vertrieb über Pharmaunternehmen, Pflegeeinrichtungen oder Unternehmen mit betrieblichem Versorgungsmanagement. Für die meisten der hier betrachteten Geschäftsmodelle erfolgt die Leistungsverrechnung, also die Bezahlung der von Ärzten oder Pflegepersonal zur Verfügung gestellten Leistungen, auf Kosten der Patienten bzw. Endanwender. Nur in wenigen Ausnahmesituationen und meist durch spezielle Versicherungsprogramme werden die anfallenden Kosten von den Krankenversicherungen übernommen. Notwendige Produkte können weder geliehen noch geleast und müssen deshalb stets gekauft werden. Die eigentliche Dienstleistung wird überwiegend als Dienstleistungs-Flatrate mit bestimmter Vertragslaufzeit feil geboten. Die Höhe des Preises richtet sich meist nach dem Funktionsumfang sowie der Risikoklasse des Patienten [21].

Im Folgenden werden exemplarisch zwei besonders leistungsfähige Unternehmen und deren Geschäftsmodelle sowie ein wissenschaftliches Projekt, die ähnlich wie COMES® ein telemedizinisches Assistenzsystem anbieten bzw. erforscht haben, beispielhaft vorgestellt.

## 2.1. Übersicht und Meta-Analyse telemedizinischer Systeme für den Hausgebrauch

Die Telemedizin ist ein wachsendes Forschungsgebiet, das vor allem seit dem Jahr 2000 immer mehr Veröffentlichungen mit sich zieht. Im Jahre 2008 hat DelliFrane und Dansky eine Literaturrecherche mit den Begriffen *telehealth*, *telemedicine* oder *telehomecare* sowie *remote monitoring*, *home* und *nursing* durchgeführt. Dabei lag ihr Interesse bei Veröffentlichungen, die die Effekte der Telemedizin bezüglich klinischer Ergebnisse in den Jahren 2001 bis 2007 beschreiben. Von 154 gefunden potentiellen Veröffentlichungen haben die Autoren aufgrund ihrer Richtlinien 29 ausgewählt und näher untersucht. Die Teilnehmer dieser Studien waren meist im mittleren (21 - 65 Jahre) oder höheren Alter (65 Jahre und älter) und mehr männlichen oder weiblichen Geschlechts. Die häufigsten Erkrankungen waren Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und psychiatrische Erkrankungen. Einen Überblick über die Unterscheidungen gibt Tabelle 2.1 nach [22].

Weiter führen die Autoren aus, dass statistisch signifikant die klinischen Ergebnisse durch die Telemedizin positiv beeinflusst werden. Der Effekt reicht dabei von geringem bis moderatem Einfluss. Dies legt nahe, dass die Telemedizin für Erkrankungen, die eine sorgfältige Beobachtung, klinische Beurteilung und frühzeitige Intervention bedürfen, nützlich ist, um Hospitalisierung und Notfalleinsätze zu vermeiden.

## 2.2. Partnership for the Heart-Studie

Das Projekt „Partnership for the Heart“ sollte mit einer Fördersumme von etwa 12 Mio. € zum Aushängeschild in Deutschland geförderter Telemedizinprojekte werden. In den Jahren 2005 bis 2011 wurde ein modernes Plattformkonzept für das telemedizinische HomeMonitoring entwickelt. Zum Nachweis der Nutzbarkeit dieser telemedizinischen Plattform wurde zwischen Anfang 2008 und Mitte 2010 eine randomisierte klinische Studie bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz durchgeführt. Daran nahmen 710 Patienten teil. An diesem Projekt beteiligten sich namhafte Firmen und Universitätskliniken wie Charité - Universitätsmedizin Berlin, Robert Bosch Krankenhaus Stuttgart, Robert Bosch Healthcare GmbH, Inter Component Ware AG und Aipermon GmbH & Co. KG sowie einige assoziierte Partner, Unterauftragnehmer und Kooperationen.

Wie bereits angedeutet, wurde als Zielsetzung des Projektes die Entwicklung eines Home-Monitoring-Systems und anschließende Erprobung dessen in einer klinischen Studie ausgesprochen. Als Referenzindikation diente die chronische Herzinsuffizienz. Mittels dieser klinischen Studie sollte die Überlegenheit der telemedizinischen Mitbetreuung im Vergleich zur bisherigen Standardtherapie in Bezug auf den medizinischen Nutzen hinsichtlich Gesamtsterblichkeit,

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

Betrachtungsmerkmale nach Kategorien	Anzahl der Studien
<b>Zusammenfassung nach Erkrankungen</b>	
Asthma	1
Diabetes	6
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	6
Hypertonie	2
Psychiatrische Erkrankungen	5
COPD	1
Multiple Sklerosis	1
Mehrfache Leiden	4
Arthritis	1
Übergewicht	2
<b>Zusammenfassung der Patientenpopulation</b>	
Kinder und Jugendliche (unter 21 Jahre)	4
Probanden mittleren Alters (21 - 65 Jahre)	15
Ältere Probanden (65 Jahre und älter)	10
Überwiegend weiblich (> 50%)	11
Überwiegend männlich (>50%)	12
Geschlecht gleichmäßig verteilt	4
Keine Aussage über Geschlechterverteilung	2
Überwiegende Weiße	7
Überwiegend Schwarze	4
Überwiegend Hispanische	0
gemischte Ethnen	3
Keine Aussage über Ethnen	15
<b>Zusammenfassung benutzer Technologien</b>	
nur Telefon	2
Internet mit oder ohne Video, Daten oder Telefon	7
Videomonitor mit oder ohne Daten oder Telefon	8
Datenmonitor mit oder ohne Telefon	12

**Tab. 2.1.:** Anzahl der Studien gemäß bestimmter Betrachtungsmerkmale, ins Deutsche übersetzt nach [22]

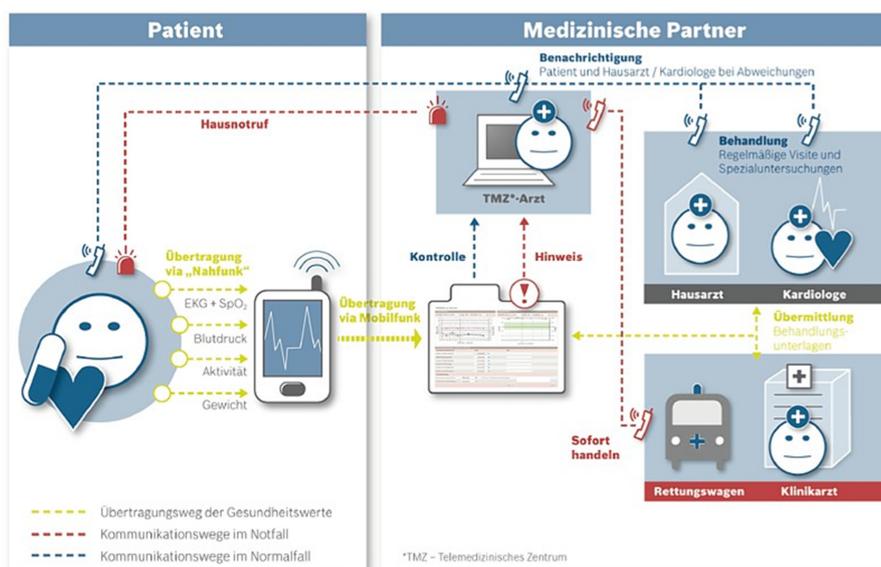
kardiovaskuläre Sterblichkeit, Hospitalisierung sowie Lebensqualität und der Gesundheitsökonomie gezeigt werden. Damit sollte der Nachweis erbracht werden, dass eine telemedizinische Mitbetreuung im Vergleich zu bisherigen Therapiestandards einen Mehrwert bietet [23].

Auf technischer Ebene wurden diverse Endgeräte für den häuslichen Einsatz bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz entwickelt und erprobt sowie eine Infrastruktur für die Übermittlung und Speicherung patientenbezogener Daten an telemedizinische Zentren in eine elektronische Patientenakte aufgebaut [23].

Die Telemedizin-Zentren - diese wurden von den beiden beteiligten Kliniken gestellt - hatten die Aufgabe, die herkömmliche haus- und fachärztliche Betreuung zu ergänzen und somit eine ständige Betreuung zu garantieren [23].

Das telemedizinische System bestand aus drei Ebenen: im häuslichen Umfeld standen dem

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik



**Abb. 2.3.:** Schematischer Aufbau des telemedizinischen Mitbetreuungssystems im Projekt Partnership for the Heart [23]

Patienten verschiedene telemedizinische Messgeräte zur Messung von Gewicht, Blutdruck, EKG, Aktivität und Sauerstoffsättigung zur Verfügung. Zusätzlich gab es für den Patienten die Möglichkeit zur Selbsteinschätzung. Eine speziell für die Erkrankung chronische Herzinsuffizienz bereitgestellte elektronische Patientenakte, die mit den Messwerten gefüllt wurde, und ein telemedizinisches Zentrum, in dem die gemessenen Werte täglich durch Fachärzte und Fachpfleger medizinisch bewertet wurden, bildeten die Ebenen zwei und drei. In Abbildung 2.3 ist das Gesamtsystem grafisch dargestellt [23].

Ein Nebenziel dieses Projektes war der Evidenznachweis für eine Versorgungsleistung, um zukünftig eine Abrechnungsziffer für den Leistungskatalog der Gesetzlichen Krankenversicherung zu erhalten. Dazu ist es notwendig, den medizinischen Nutzen, also geringere Sterblichkeit, geringere Hospitalisierung, weniger Komplikationen und höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität nachweisen zu können. Des Weiteren muss der Nachweis einer gesundheitsökonomischen Relevanz erbracht werden [23].

Nachdem entsprechende Sensoren entwickelt und die technische Infrastruktur inklusive Notruffunktion aufgebaut und erprobt wurden (vgl. Abbildung 2.3), folgte die Durchführung der geplanten wissenschaftlichen Studie. Zunächst wurden 600 schwer herzkrankte Hochrisiko-Patienten rekrutiert, deren Zahl sich ein Jahr später auf 710 erhöht hatte. 356 Patienten wurden mit herkömmlichen Verfahren leitliniengerecht betreut und dienten als Kontrollgruppe, wohingegen 354 Patienten mit dem zu überprüfenden telemedizinischen Mitbetreuungssystem behandelt wurden. Jeden Tag wurden die gemessenen Werte EKG, Blutdruck, Gewicht und eine gesundheitliche Selbsteinschätzung des Patienten an das jeweilige regionale Telemedizin-Zentrum gesendet und in die persönliche Patientenakte eingetragen. Zusätzlich konnten

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

sich die Patienten über das Hausnotruf-System direkt an das Telemedizin-Zentrum wenden. Für diese Betreuung im Telemedizin-Zentrum standen Fachärzte und speziell ausgebildetes Fachpflegepersonal ganztägig zur Verfügung. Somit wurde die leitliniengerechte Versorgung durch Haus- und Facharzt telemedizinisch ergänzt [23].

Als Ergebnis dieser wissenschaftlichen Studie ist festzuhalten, dass für leitliniengerecht behandelte Herzinsuffizienzpatienten im stabilen Zustand eine sehr niedrige, in beiden Gruppen unveränderte Gesamtsterblichkeit bestand. Die Vorteile der telemedizinischen Mitbetreuung zeigten sich vor allem bei Patienten, die einen Krankenhausaufenthalt wegen Herzinsuffizienz hatten, der weniger als zwölf Monate vor Beginn der telemedizinischen Mitbetreuung zurücklag. Bezogen auf die Reduktion der Sterblichkeit durch Herzerkrankungen hatten diese Patienten einen signifikanten Vorteil um 50%. Weiterhin waren Patienten mit telemedizinischer Mitbetreuung durchschnittlich drei Wochen weniger im Krankenhaus als diejenigen aus der Kontrollgruppe. Betrachtet man die körperliche Leistungsfähigkeit, so wiesen alle Telemedizinpatienten einen signifikanten Vorteil auf. Dieser Vorteil war im ersten Jahr am stärksten ausgeprägt, blieb jedoch über den gesamten, durchschnittlich 25-monatigen Studienverlauf zugunsten der Telemedizinpatienten bestehen [24], [25]. Bei diesen Ergebnissen ist ferner zu beachten, dass der hohe Standard der leitliniengerechten Versorgung in Deutschland, z.B. aufgrund fehlender Kenntnisse der Leitlinien oder im strukturschwachen ländlichen Raum wegen des Ärztemangels nicht immer gegeben ist [23].

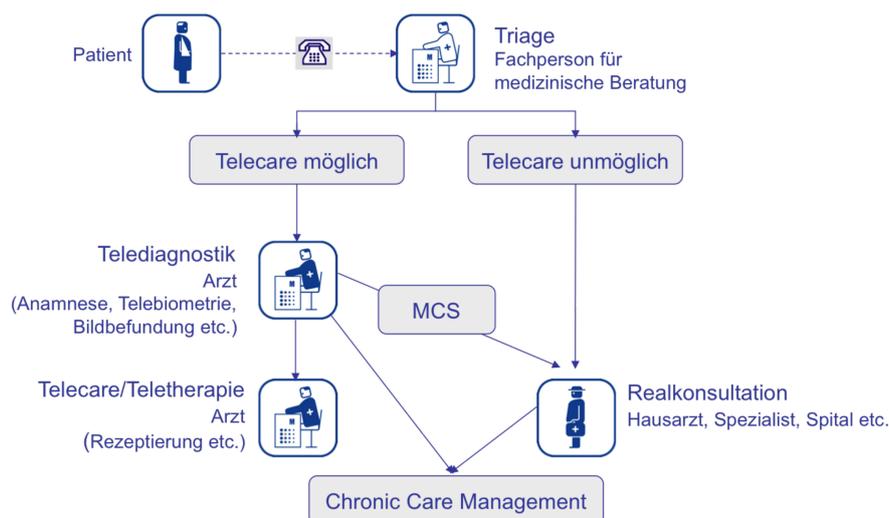
Wie bereits erwähnt, war ein Ziel dieses Projektes die Aufnahme eines derartigen telemedizinischen Mitbetreuungssystems in den Leistungskatalog der Gesetzlichen Krankenkassen. Nach [23] konnten mit Hilfe des Projektes Partnership for the Heart viele Hürden auf diesen Weg überwunden werden. Es wurde der Nachweis der technischen Machbarkeit hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit, Datenschutz, Systemintegration, Zertifizierung und Standardisierung erbracht. Dabei wurde nicht nur auf eine einfach Bedienung vor allem für ältere Patienten geachtet - eine Schulung von 60 Minuten sollte ausreichen -, sondern auch ein ausführliches Datenschutzkonzept in Abstimmung mit dem Datenschutzbeauftragten des Landes Berlin erarbeitet und gängige Standards wie HL7, SciPhox und LOINC berücksichtigt. Mittels einer groß angelegten kontrollierten, prospektiven, offenen, randomisierten und multizentrischen Studie, die bei der US-amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) angemeldet wurde, konnte ein medizinischer Nutzen, vor allem für „instabile Patienten“ nachgewiesen werden. Es wird davon ausgegangen, dass in Deutschland etwa 150.000 Patienten mit Herzinsuffizienz von einer telemedizinischen Mitbetreuung profitieren könnten. Ob auch eine gesundheitsökonomische Relevanz nachgewiesen werden konnte, ist zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit nicht bekannt.

### 2.3. Medgate

Das schweizer Unternehmen Medgate zählt zum führenden Anbieter für die umfassende und integrierte medizinische Versorgung, der sogenannten 360° Gesundheitsversorgung, in Europa. Bereits seit 1999 ist Medgate als Betreiber eines telemedizinischen Zentrums in Basel



## 2. Stand der Wissenschaft und Technik



**Abb. 2.5.:** Der Prozessablauf der Telekonsultation bei der Firma Medgate [26]

Als weiteren Schwerpunkt hat sich Medgate dem Chronic Care Management verschrieben, also der Schulung, des Coachings und bei Bedarf auch der kontinuierlichen Überwachung verlaufsrelevanter Körperfunktionen mit Hilfe des Medgate Telelabors. Als Ziel wird die Förderung der Selbstständigkeit des Patienten und damit die Verbesserung seiner Lebensqualität angegeben. Ebenso bietet Medgate seinen Kunden ein Ernährungs- und Bewegungsprogramm namens califit an. Damit sollen mobile und gesundheitsbewusste Personen auf ihrem Weg zu weniger Gewicht und einer gesünderen Ernährung begleitet werden. Bezugnehmend auf Abbildung 2.4 befindet man sich hier in den Bereichen des Disease Managements und Case Managements [27]. Weiterhin hat es Medgate nicht versäumt, für Ärzte aus dem Medgate Partner Network das Praxisnotfalltelefon zu übernehmen. Damit kann der Arzt für seine Patienten auch nachts, am Wochenende oder zu Randzeiten eine optimale medizinische Betreuung bieten [27]. Schließlich ist mit dem International Medical Assistance Programm eine medizinische Betreuung im Ausland und gegebenenfalls eine Rücktransport in die Schweiz möglich [27].

Die Abrechnung der von Medgate erbrachten Leistungen erfolgt in überwiegenden Fällen mit den Krankenversicherern, die in speziellen Programmen ihre Kunden zur Telekonsultation ermutigen, bzw. den Partnerärzten.

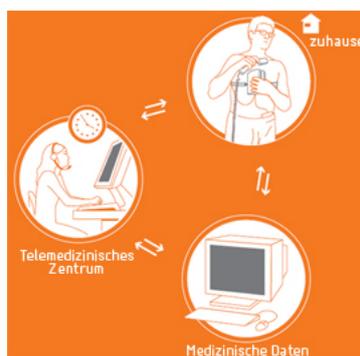
## 2.4. SHL Telemedicine

Die SHL Telemedizin GmbH als Tochtergesellschaft des weltweit agierenden Unternehmens SHL Telemedicine Ltd. ist im Bereich der persönlichen Telemedizin, vor allem im Bereich des telemedizinischen Monitorings der Herzrhythmusaktivität seit 1987 tätig. In Deutschland ist bisher eine

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

telemedizinische Betreuung nur für Patienten mit chronischer Herzschwäche möglich [28].

Die SHL Telemedizin bietet ein breites Spektrum an telemedizinischen Dienstleistungen und Endverbrauchergeräten an. Die Bandbreite der Geräte erstreckt sich von einem tragbaren 12-Kanal-EKG über ein Finger-Oximeter und einem Spirometer bis hin zu einem telemedizinischen Gerät zur Blutuntersuchung sowie Blutdruckmessgeräten und Waagen. Die Datenübertragung erfolgt über Bluetooth an eine von SHL zur Verfügung gestellten Basisstation, die mit dem Service-Zentrum verbunden ist, oder über ein integriertes Mobilfunkmodem bzw. einer akustischen Übermittlung über einen Festnetzanschluss. Diese Daten werden in die persönliche elektronische Patientenakte übermittelt. Darin sind neben den Messwerten Patienten- und Kundendaten sowie demografische Daten, Krankengeschichte und medizinische Referenzmessungen hinterlegt. Diese Daten bilden die Grundlage für Handlungen des speziell geschulten medizinischen Teams im von SHL betriebenen telemedizinischen Zentrum. Dieses ist rund um die Uhr besetzt. Somit kann auf Veränderungen des Gesundheitszustandes des Patienten entsprechend reagiert werden. Zudem kann der Patient bei Beschwerden im telemedizinischen Zentrum anrufen und seine Beschwerden einem kompetenten Fachpersonal darlegen. Schematisch ist dieser Aufbau in Abbildung 2.6 gezeigt [28].



**Abb. 2.6.:** Schematischer Aufbau des telemedizinischen Serviceangebotes der SHL Telemedizin GmbH [29]

Das Unternehmen betreibt eine Vielzahl an Kooperationen mit Krankenversicherungen, Kliniken sowie medizinischen und Industrie-Fachverbänden. Dadurch wird nicht nur der Vertrieb, sondern auch die notwendige Fachkompetenz sichergestellt. Die Haupteinnahme stellen telemedizinische Dienstleistungen dar. Diese werden über Verträge mit festgelegter Laufzeit angeboten. Die Kosten hierfür übernimmt in der Regel der Patient. In speziellen Anwendungsfällen ist auch eine Übernahme durch die Krankenversicherung möglich [28], [21].

Zur Wirksamkeit telemedizinischer Betreuung weist das Unternehmen auf seiner Homepage auf eine vergleichende Studie bezüglich der Überlebenschancen innerhalb des ersten Jahres nach einem Myokardinfarkt mit und ohne telemedizinischer Betreuung in Israel hin. Dazu wurden Daten aus der ACSIS-Studie (Acute Coronary Syndrome Israel Survey) entnommen,

die alle zwei Jahre von der Israel Heart Society durchgeführt wird. Darin wird festgestellt, dass bei insgesamt 3.899 untersuchten Patienten die Sterblichkeit innerhalb der von SHL telemedizinisch betreuten Gruppe bei 4,4% und innerhalb der Vergleichsgruppe bei 9,7% lag [28].

Mit dieser Fülle an Angeboten stellt die SHL Telemedizin ein telemedizinisches Assistenzsystem für den speziellen Fall chronischer Herzschwäche zur Verfügung.

### 2.5. Zusammenfassung

An den vorgestellten Unternehmen und Studien telemedizinischer Assistenzsysteme wird deutlich, dass in der Regel nur ein Parameter, wie z.B. Blutdruck, Blutzucker oder Gewicht, aufgenommen und dessen zeitlicher Verlauf in einer Datenbank gespeichert wird. Bei vielen Krankheitsbildern, wie beispielsweise dem metabolischen Syndrom, müssen allerdings verschiedene medizinisch relevante Werte, wie Blutdruck, Puls, Blutzucker und Gewicht zueinander in Beziehung gesetzt werden, um den Gesundheitszustand eines Patienten belastbar bewerten zu können. Demzufolge benötigt ein Patient mit dem metabolischen Syndrom eine Reihe verschiedener Endgeräte zur Messung der erforderlichen Parameter. Seine Mobilität wird somit erheblich eingeschränkt. Darüber hinaus sind Bestrebungen erkennbar, die eingesetzten Anwendungen in die Lage zu versetzen, die erfassten Daten eigenständig zu interpretieren und medizinische Empfehlungen ableiten zu können. Das Informationsmanagement dient nicht mehr nur der reinen Dokumentation der Daten, sondern gibt dem Patienten zusätzliche Empfehlungen, wie er sich basierend auf den erhobenen Werten und in ärztlicher Abstimmung verhalten soll [21].

Vor diesem Hintergrund sind folgende Weiterentwicklungen telemedizinischer Assistenzsysteme notwendig: Einerseits die Funktionsintegration verschiedener medizinischer Sensoren in ein Endgerät zur Erfassung mehrerer Parameter. Dadurch wird die Mobilität von Patienten, die beispielsweise am metabolischen Syndrom erkrankt sind, deutlich erhöht und ihre Stigmatisierung verringert. Andererseits die Erweiterung des Informationsmanagements hinsichtlich einer automatisierten Analyse der Daten, um bspw. den Patienten in seiner Therapie fachgerecht durch automatisierte Empfehlungen begleiten zu können. Erst genannter Punkt wurde im Projekt KOMPASS [21] umgesetzt, wohingegen die Erweiterung des Informationsmanagements sowie die Unterstützung des Arzt-Patienten-Dialogs im Projekt KOMPASS erweitert, jedoch Kern von COMES<sup>®</sup> und somit dieser Arbeit ist.

# 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

In der heutigen Medizin werden für Diagnose und Therapie immer mehr Daten in elektronischer Form erhoben, ausgewertet, analysiert und archiviert. Es ist ein leichtes sich vorzustellen, dass dies auch im besonderen Maße für die Telemedizin zutrifft, zumal die Grundlage der Telemedizin die moderne Informations- und Telekommunikationstechnik ist. Zur Verwaltung derartiger Daten bedarf es daher einer Datenbank. Eine Datenbank ist eine „Datenorganisation, die sowohl eine Datenbasis als auch eine zugehörige Datenverwaltung umfasst. (Sie) ... dient dazu, eine große Menge von Daten strukturiert zu speichern und zu verwalten“ [30].

In diesem Kapitel werden daher unterschiedliche Datenbank-Architekturen und Datenbank-Modelle vorgestellt, die in der Telemedizin Verwendung finden könnten. Abschließend werden die verschiedenen Modelle einer Bewertung unterzogen.

## 3.1. Einführung in Datenbanksysteme

### 3.1.1. Allgemeines zur Datenbanktheorie

Die westlichen Industrienationen, aber auch aufstrebende Länder wie China oder Brasilien bewegen sich immer mehr hin zu einer Informationsgesellschaft, also einer Gesellschaft, in der die Informations- und Kommunikationstechnologie an zentraler Bedeutung gewonnen hat [31]. Für Unternehmen, Verwaltungen, Forschungseinrichtungen und Versicherungen, aber auch für private Personen wird es immer wichtiger, auf Informationen zugreifen und diese auch verwalten zu können. Nach Einschätzungen von Experten verdoppelt sich die weltweite Informationsmenge alle 20 Monate [32]. Dabei wird die Information nicht mehr überwiegend in Papierform verbreitet, sondern steht dem Einzelnen elektronisch zur Verfügung. Dies hat zur Folge, dass die vorhandene Informationsmenge für den Einzelnen unüberschaubar wird, weswegen es effizienter Möglichkeiten der Verwaltung sowie der Verfügbarkeit und Anwendbarkeit von Daten bedarf. Dafür werden immer mehr Datenbanksysteme (DBS) eingesetzt. Diese finden sich in den unterschiedlichsten Branchen, Institutionen und Bereichen. Auch telemedizinische Assistenzsysteme fußen darauf, dass eine Vielzahl von Daten erhoben, anschließend ausgewertet und dem Anwender wieder zur Verfügung gestellt werden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, sind Datenbanksysteme unausweichlich.

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat man damit begonnen, aus Dateisystemen Datenbanksysteme zu entwickeln. Dabei wurde das hierarchische Modell zugrunde gelegt, das die reale Welt durch eine hierarchische Baumstruktur abbildet. Eines der bekanntesten Vertreter dieser Gattung ist das System IMS der Firma IBM. Kurze Zeit später brachte Siemens das System UDS auf den Markt. Dieses basiert auf dem Netzwerk-Datenmodell, das als Verallgemeinerung des hierarchischen Modells verstanden werden kann. 1970 veröffentlichte Edgar Codd die Grundlage des Relationenmodells, mit dem Beziehungen zwischen Daten in Form von Relationen bzw. in Tabellenform beschrieben werden [33]. Dies ist als entscheidender Fortschritt zu werten, da es zum ersten Mal gelungen ist, das logische Datenmodell vom physischen zu trennen [34]. Erste kommerzielle Produkte relationaler Datenbanksysteme, wie DB2 oder Oracle kamen in den 80er Jahren auf dem Markt. Im darauffolgenden Jahrzehnt kam es zu einer Weiterentwicklung des Relationenmodells hin zu objektorientierten Datenbanksystemen. In diesen können „Objekte der Umwelt mit ihrem Verhalten und ihren Eigenschaften nachgebildet und in einer Datenbank gespeichert und verwaltet“ [35] werden.

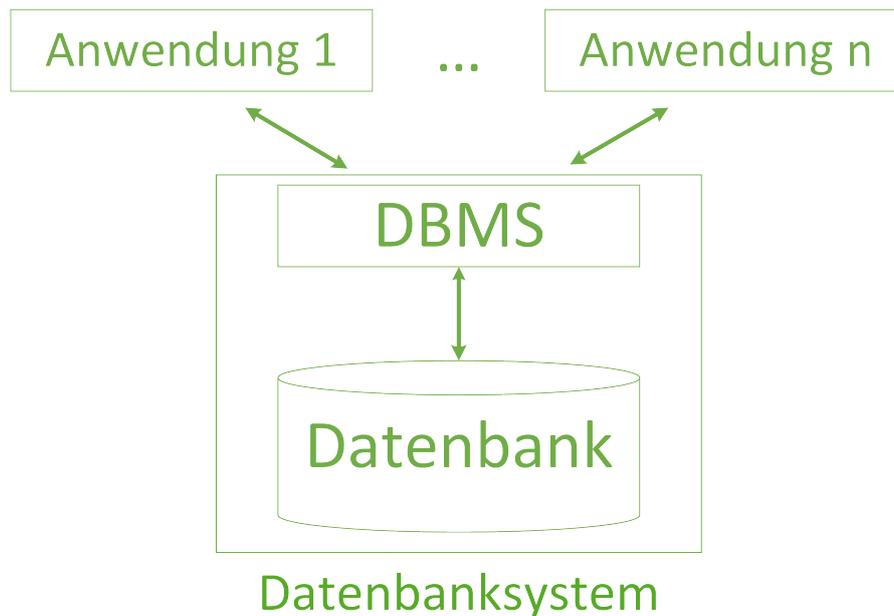
Mit dem Beginn und der Verbreitung des Internets stieg der Bedarf, Inhalte von Webseiten dynamisch zu erzeugen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden viele neue Technologien zur Anbindung von Datenbanksystemen entwickelt. Diese frühe Phase der stetig wachsenden Nutzern von Datenbanksystemen wurde von wenigen kommerziellen Anbietern wie Oracle, IBM oder Microsoft beherrscht. Erst zur Jahrtausendwende etablierten sich kostenlose OpenSource-Datenbanksysteme, wie bspw. MySQL, das schnell zu dem weltweit am weitesten verbreiteten relationalen Datenbankverwaltungssystemen zählte [36].

Darüber hinaus wurde eine Vielzahl von Datenbanksystemen für spezielle Anwendungen entwickelt. Dazu zählen beispielsweise wissensbasierte Systeme oder Expertensysteme. Wissensbasierte Systeme sollen das gespeicherte Wissen dokumentieren, technische Entscheidungshilfen geben sowie Selbstlernprogramme zur Verfügung stellen [37]. Dahingegen ist es Aufgabe von Expertensystemen, Fachwissen bereit zu stellen und den Anwender bei der Problemlösung zu unterstützen [38].

Im Bereich von Datenbanksystemen werden aktuell unterschiedlichste Forschungstrends verfolgt. Zum einen wird versucht, OLAP-Funktionalitäten (Online Analytical Processing), Data Mining Algorithmen und maschinelles Lernen in Datenbanksysteme zu integrieren. Somit können Entscheidungsbäume oder Zeitreihenanalysen leichter umgesetzt werden. Zum anderen werden aufgrund des steigenden Bedarfs, Datenströme zu verarbeiten, sogenannte Datenstrommanagementsysteme (DSMS) entwickelt. Somit können Datenströme, wie sie bei der Beobachtung der Umwelt von z.B. Patienten-Monitoring Daten anfallen, schnell verarbeitet werden, ohne diese persistent in einer herkömmlichen Datenbank zu halten. Im Allgemeinen kann man beobachten, dass die meisten Trends darin bestehen, mit anderen Disziplinen der Informatik zusammenzuwachsen [39].

### 3.1.2. Aufbau und Funktionen eines Datenbanksystems

Bei einem Datenbanksystem ist der Datenbestand in einer Datenbank integriert und jeder Zugriff erfolgt ausschließlich über das Datenbankmanagementsystem (DBMS), das eine Art Filter darstellt. Anders ausgedrückt, kann ein Datenbanksystem als Kombination eines DBMS und einer Datenbank verstanden werden. In einer Datenbank selbst werden große Mengen von Daten strukturiert gespeichert und verwaltet [30], wohingegen das Datenbankmanagementsystem zur Verwaltung der Daten einer Datenbank dient [40]. Abbildung 3.1 zeigt das Prinzip eines solchen Datenbanksystems.



**Abb. 3.1.:** Prinzip eines Datenbanksystem, entnommen aus [41]

Zu beachten ist, dass in der Literatur je nach Autor der Begriff Datenbanksystem oft mit dem Begriff Datenbankmanagementsystem gleichgesetzt wird.

Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Grundmerkmale von modernen Datenbanksystemen herauskristallisiert. So können DBS persistente, also langfristig zu haltende Daten, sowie große Datenmengen effizient verwalten. Die Daten selbst werden durch ein sogenanntes Datenbankmodell einheitlich beschrieben. Des Weiteren stellt ein DBS Operationen und Sprachen, wie Datendefinitionssprache oder Datenmanipulationssprache zur Verfügung, um die Struktur der abzuspeichernden Datenobjekte zu beschreiben bzw. diese zu speichern, zu löschen oder zu bearbeiten. Eine wichtige Aufgabe eines DBS ist, dass mehrere Benutzer gleichzeitig auf die vorhandenen Daten zugreifen können. Zur Vermeidung von unerwünschten Nebeneffekten wird deshalb von DBS das Transaktionskonzept unterstützt. Dieses sorgt dafür, dass logisch zusammenhängende Operationen zusammengefasst und atomar, d.h. nicht unterbrechbar bearbeitet

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

werden. Weiterhin garantiert ein Datenbanksystem Geräte- und Datenunabhängigkeit und ermöglicht eine redundanzfreie und konsistente Datenhaltung. Schließlich ist es Kernaufgabe eines Datenbanksystems, die Zugriffskontrolle sicherzustellen und die Datensicherheit zu gewährleisten. Dies ist besonders für telemedizinische Assistenzsysteme entscheidend, da die individuellen, medizinischen Daten, die in der Gesellschaft als äußerst sensibel gelten, ein hohes Maß an Sicherheit und Zuverlässigkeit erfordern [41], [42].

Aus Abbildung 3.1 wird deutlich ersichtlich, dass die Intelligenz eines Datenbanksystems im Datenbankmanagementsystem liegt. Das DBMS liefert die Software zur Verwaltung von Datenbanken, wohingegen die Datenbank als strukturierter, von einem DBMS verwalteter Datenbestand zu verstehen ist. Bereits 1982 hat Codd die Anforderungen an ein DBMS in neuen Punkten zusammengefasst [43] (entnommen aus [41]):

#### 1. **Integraion**

In einem Datenbankmanagementsystem werden Daten derart abgelegt, dass eine einheitliche Verwaltung aller von Anwendungen benötigten Daten gewährleistet wird. Dies bedeutet, dass jedes logische Datenelement, wie z.B. der Messwert eines Patienten, an nur einer einzigen Stelle in der Datenbank gespeichert wird. Die Datenintegration ermöglicht somit eine einheitliche, nicht-redundante Datenverwaltung.

Dieses Dogma darf aber nicht als unverrückbar angesehen werden. So kann in bestimmten Fällen eine begrenzte und vom DBMS kontrollierte Redundanz zugelassen werden. Dies ist dann erforderlich, wenn logische Beziehung zwischen Daten aufrecht erhalten werden müssen oder wenn dadurch die Leistungsfähigkeit verbessert werden kann [44].

#### 2. **Operationen**

Auf einer Datenbank müssen unterschiedliche Operationen durchgeführt werden können. Dazu zählen u.a. das Speichern, Suchen oder Ändern des Datenbestandes. Um diese Kommunikation mit der Datenbank zu ermöglichen, stellt das DBMS dem Anwendungsprogramm oder Benutzer eine Datenbanksprache zur Verfügung. Aufgabe des DBMS ist es nun, derartige Anfragen möglichst effizient zu verarbeiten. Dazu muss eine lexikalische Analyse und Syntaxanalyse der Anfrage durchgeführt sowie die Anfrage optimiert und effizient ausgeführt werden [44].

Als gängigste Datenbanksprache für relationale Systeme wird derzeit SQL (Structured Query Language) verwendet. Sie wurde zu Beginn der 1970er Jahre bei der Firma IBM unter dem Namen SEQUEL (Structured English Query Language) entwickelt, ehe sie von der amerikanischen Normungsorganisation ANSI (American National Standards Institute) und der internationalen Normungsorganisation ISO (International Standardization Organization) standardisiert und unter dem Namen SQL zur Verfügung gestellt wurde. Als Anfragesprache ist SQL deklarativ; das bedeutet, dass der Benutzer lediglich die gewünschten Daten abfragt, ohne sich um die Verarbeitungsabläufe, Zugriffspfade und Navigationswege kümmern zu müssen. Der Anfrageoptimierer des Datenbanksystems übernimmt die Aufgabe, oft sehr komplexe und zur Festlegung der Auswertung nötigen Entscheidungen zu treffen. Somit kann die physische Datenunabhängigkeit größtenteils gewährleistet werden [42]. Dieser deklarative Ansatz ermöglicht demnach auch

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

gelegentlichen Nutzern, die keine tiefgreifenden Kenntnisse über die innere Struktur der Datenbank haben, Anfragen selbst durchzuführen. Der Anwender gibt lediglich eine seinen Wünschen entsprechende Selektionsbedingung an, wohingegen das DBS im Datenbestand nach den Informationen sucht und eine Ergebnistabelle zurückliefert [45]. Wie bereits angedeutet, werden viele verschiedene Anwender mit unterschiedlichen Kenntnissen eine Datenbank nutzen. Für die einzelnen Anwender muss das DBMS daher entsprechende Benutzerschnittstellen bereitstellen, wie Anfragesprachen für gelegentliche Nutzer, Programmierschnittstellen für Anwendungsprogrammierer, grafische Benutzeroberflächen, Datendefinitionssprachen, Datenmanipulationssprachen u.v.m. Die Mindestanforderung für eine Datenbanksprache wie SQL kann demnach wie folgt beschrieben werden:

- Datendefinitionssprache (Data Definition Language, DDL): Diese Sprache dient zur Beschreibung der Struktur der abzuspeichernden Datenobjekte.
- Datenverarbeitungssprache (Data Manipulation Language, DML): Mit dieser Sprache werden Datenmanipulationen, also Änderungen, oder einfache Abfragen durchgeführt.
- Datenaufsichtssprache (Data Control Language, DCL): Mit diesen Sprachelementen wird die Zugriffskontrolle und Zugangsberechtigung erreicht.

Die Datenbanksprache SQL erfüllt all diese Anforderungen und hat sich daher auch zu recht als Standard-Abfragesprache für relationale Datenbankmanagementsysteme etabliert.

#### 3. **Katalog**

Mit Hilfe des Katalogs, auch Data Dictionary genannt, wird ein Zugriff auf die Datenbeschreibung der Datenbank ermöglicht. Darunter fallen beispielsweise Erzeugungszeit und Eigentümer von Tabellen oder die Beschreibung der Tabellen und ihrer Spalten [39].

#### 4. **Benutzersichten**

Viele verschiedene Benutzer mit unterschiedlichem inhaltlich und technischen Wissen üben Datenbankzugriffe aus. Für all diese unterschiedlichen Benutzerklassen sind verschiedene Sichten, sog. views, nötig, die bestimmte Ausschnitte aus dem Datenbestand enthalten oder diesen entsprechend strukturieren. Sichten, die für die Anwendung bzw. Nutzer nicht zugänglich sein sollen, können somit im Verborgenen bleiben. Wie nachfolgend in diesem Kapitel in der Drei-Ebenen-Architektur beschrieben, sind die Sichten dem externen Schema des Datenbanksystems zuzuordnen [39].

#### 5. **Konsistenzüberwachung**

Unter dem Begriff der Konsistenz versteht man die Widerspruchsfreiheit und Stimmig-

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

keit von Daten. Diese ist aufgrund bestimmter Kriterien an die Datenintegrität und Plausibilität gegeben [46]. Dadurch wird die Korrektheit von Datenbankinhalten und die korrekte Ausführung von Änderungen gewährleistet.

Um diesen Zustand korrekter Datenbankinhalte zu gewährleisten, werden im DBMS benutzerdefinierte Integritätsbedingungen definiert, die während der Anwendungszeit vom System kontrolliert werden. Somit wird sichergestellt, dass nach einer Transaktion, bspw. dem Einfügen, Löschen oder Ändern der Daten, die Daten fehlerfrei sind und sich nicht gegenseitig widersprechen.

Wird während der Bearbeitung eine der Integritätsbedingungen verletzt, so gilt die gesamte Transaktion als nicht konsistent. In diesem Fall muss die gesamte Transaktion komplett zurückgesetzt werden. Wie unter dem Punkt Transaktionen beschrieben ist, stellt die Konsistenz eine der ACID-Kriterien dar. Diese beschreiben Regeln, wie Transaktionen in einem Datenbanksystem vorgenommen werden dürfen.

In den Bereich der Konsistenzüberwachung zählt unter anderem auch die Speicherkonsistenz. Darunter versteht man die Gewährleistung intakter Speicherstrukturen und Inhalte, womit die physische Integrität sichergestellt wird.

#### 6. Zugriffskontrolle

Daten, die in einer Datenbank gespeichert werden, sind meist nur für eine bestimmte Personengruppe gedacht. Es werden daher Regeln festgelegt, die unautorisierte Zugriffe auf diesen Datenbestand oder auf bestimmte Sichten verhindern. Diese Maßnahme erhöht die Sicherheit enorm, vor allem wenn es sich um personenbezogene Daten, wie Adressen oder medizinische Messwerte, handelt, die in Deutschland dem Datenschutz unterliegen, oder um institutions- beziehungsweise firmenspezifische Daten.

#### 7. Transaktionen

Eines der wichtigsten Forderungen bei Datenbanksystemen ist die Korrektheit des Datenbestandes und wird als dessen Integrität bezeichnet. Dabei wird zwischen semantischer Integrität und Ablaufintegrität unterschieden. Unter semantischer Integrität versteht man, dass nach einer Transaktion ein korrekter, konsistenter Datenbankzustand vorliegt. Die Konsistenz bezieht sich in diesem Fall auf die Bedeutung der Datenbankinhalte. So ist ein negativer Gewichtswert zwar syntaktisch korrekt, widerspricht aber der Bedeutung eines Gewichtswertes. Auf der anderen Seite bezeichnet die Ablaufintegrität das Fehlen von Fehlern bei gleichzeitigen Mehrbenutzerzugriffen auf denselben Datenbestand.

Um diesen Forderungen gerecht zu werden, wird in Datenbanksystemen das sogenannte Transaktionskonzept umgesetzt. Es bildet somit eines der Kernkonzepte, um die Datensicherheit zu gewährleisten. Damit wird sichergestellt, dass bei Änderungen und gleichzeitigem Zugriff auf den selben Datenbestand die ausgeführten Datenbankänderungen sowie der Datenbankinhalt korrekt erhalten bleiben.

Als Transaktion versteht man eine Folge von Datenbankoperationen, die zu einer Funktionseinheit zusammengefasst und als Ganzes ausgeführt werden. Das Zusammenfassen zu einer Funktionseinheit wird als atomar bezeichnet und bedeutet, dass die Operationen

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

vollständig oder überhaupt nicht ausgeführt werden. Dies meint, dass eine Datenbank lediglich vor und nach einer Transaktion in einem gültigen Zustand sein muss, wohingegen während der Bearbeitung der Transaktionen einzelne Bedingungen temporär verletzt werden dürfen.

Nach einer erfolgreichen Durchführung von Transaktionen werden die Änderungen zudem dauerhaft in der Datenbank gespeichert [41].

Transaktionen müssen vier Eigenschaften, die sog. *ACID-Eigenschaften*, benannt nach den Anfangsbuchstaben der nachfolgend aufgeführten Prinzipien, einhalten [42]:

- **Atomarität (Atomicity):** Eine Transaktion ist als kleinste, unteilbare Einheit zu betrachten. Bei einer Transaktion werden entweder alle Datenbankänderungen durchgeführt oder keine.
- **Konsistenz (Consistency):** Nachdem eine Transaktion beendet wird, muss sich der Datenbestand in einem konsistenten (widerspruchsfreien) Zustand befinden. Andernfalls wird er aufgrund der Atomarität komplett zurückgesetzt.
- **Isolation (Isolation):** Werden mehrere Transaktionen gleichzeitig ausgeführt, so dürfen sich diese gegenseitig nicht beeinflussen.
- **Dauerhaftigkeit (Durability):** Ist eine Transaktion erfolgreich beendet worden, so bleibt deren Wirkung dauerhaft in der Datenbank erhalten.

### 8. Synchronisation

Wird von mehreren Nutzern gleichzeitig auf den Datenbestand einer Datenbank zugegriffen, kann es bei der Verarbeitung von Transaktion zu Problemen kommen. Eine Transaktion benötigt eine gewisse Zeit, um Operationen auszuführen. Es kann nun vorkommen, dass, während die erste Transaktion ausgeführt wird, eine zweite Transaktion Operationen auf dieselben Daten ausführt. Dies erzeugt unterschiedliche Probleme, bspw. das sogenannten Lost-Update-Problem. Dieses beschreibt einen Fehler, der bei gleichzeitigem Ändern und anschließendem Zurückschreiben eines Datenobjektes auftreten kann. Hierbei können die Änderungen der ersten Transaktion durch die zweite überschrieben werden.

Es ist also nötig, dass konkurrierende Transaktionen mehrerer Benutzer synchronisiert werden. So können gegenseitige Beeinflussungen vermieden werden. Als praktisches Beispiel kann hier der Verkauf von Flugtickets für dieselben Plätze von zwei unterschiedlichen Reisebüros angeführt werden. Dem Benutzer erscheint es, als ob nur er einen Zugriff auf die Daten hat. Als wichtigstes Grundprinzip gilt hier das bereits unter dem Punkt Transaktion beschriebene Transaktionskonzept, wonach eine Transaktion gemäß den ACID-Kriterien vollständig oder gar nicht ausgeführt wird [41].

### 9. Datensicherung

Es gibt immer wieder Situationen, in denen Hard- oder Softwarefehler auftreten. In einem solchen Fall ist es Aufgabe des DBMS, einen korrekten Datenbankzustand herzustellen.

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Durch dieses sogenannte Recovery werden verloren gegangene Datenbestände wiederhergestellt. Zusätzlich dient die Datensicherung auf einem weiteren Speichermedium in Form von Sicherheitskopien dem Erhalt der Daten.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird das Datenbankmanagementsystem in Funktionsmodule unterteilt, die an drei Abstraktionsebenen, der sogenannten Drei-Ebenen-Architektur, angelehnt sind.

Die *interne Ebene* beschreibt, wie die Daten tatsächlich auf den Hintergrundspeicher gespeichert sind. Hier werden Speicherstrukturen und eventuell Indexstrukturen für das schnelle Auffinden von Daten festgelegt.

Auf der *logischen Ebene* ist das konzeptuelle Schema zu finden. Eine Menge an Typdefinitionen legt die logische Struktur der Dateneinheit fest. Es schließt die Beziehungen zwischen den Daten, Tabellen, Zugriffsbedingungen, usw. ein.

In der *externen Ebene* werden Sichten beschrieben, die eine externe Anwendung bzw. der Anwender selbst auf die gespeicherten Daten hat. Dabei können viele Sichten nebeneinander existieren. Jede Sicht beinhaltet einen auf die Bedürfnisse der Anwender zugeschnittenen Ausschnitt des gesamten Datenbestandes. Dies ist nötig, da einerseits die Anwender lediglich ein Interesse an einem Teil aller Daten haben, andererseits kritische Informationen in den Sichten ausgeblendet werden können, und somit dem Datenschutz zu genügen.

Durch diese Drei-Ebenen-Architektur kann ein gewisses Maß an Datenunabhängigkeit gewährleistet werden. Aus den unterschiedlichen Ebenen ergeben sich zwei Stufen der Datenunabhängigkeit.

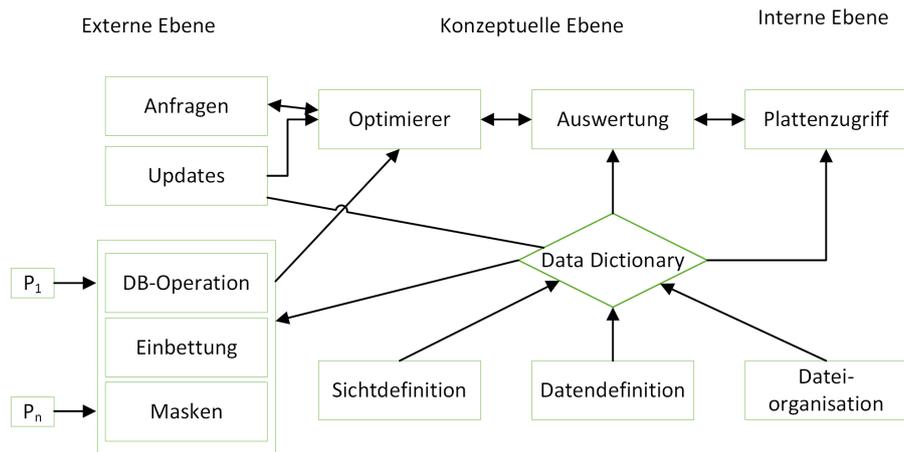
Die *physische Datenunabhängigkeit* garantiert, dass eine Änderung der physischen Speicherstruktur keine Änderung der logischen Ebene, also dem Datenbankschema, nach sich zieht. Somit kann beispielsweise nachträglich ein Index zum schnelleren Auffinden bestimmter Daten eingebaut werden. Heutige Datenbanksysteme erfüllen meist die physische Datenunabhängigkeit.

Die *logische Datenunabhängigkeit* wird dadurch erzielt, dass kleine Änderungen wie beispielsweise die Umbenennung von Eigenschaften möglich sind, in der Definition der Sichten aber vor den Anwendern verborgen bleiben. Schon aus konzeptuellen Gründen ist die logische Datenunabhängigkeit nur für einfachste Veränderungen des Datenbankschemas möglich [41], [42].

Das Drei-Ebenen-Modell beschreibt auf sehr einfache Weise die Architektur eines Datenbankmanagementsystems. Jedem dieser Ebenen können nun Komponenten zugeordnet werden. Die Komponenten und die jeweilige Zuordnung ist in Abbildung 3.2 gezeigt und werden im Folgenden nach [41] kurz charakterisiert.

Das *Data Dictionary* in der Mitte der Abbildung 3.2 bildet den zentralen Katalog aller für die Datenhaltung relevanter Informationen. Es wird mit Informationen aus der Dateiorganisation, Datendefinition sowie Sichtdefinition versorgt. Die *Dateiorganisation* beinhaltet

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich



**Abb. 3.2.:** Vereinfachte Architektur eines Datenbankmanagementsystems, entnommen aus [41]

Methoden und Prinzipien zur Strukturierung einer Datei sowie die Zugriffspfade auf der internen Ebene. In der *Datendefinition* ist die Definition des konzeptuellen Schemas hinterlegt, wohingegen die *Sichtdefinition* den Inhalt der Datendarstellung auf externer Ebene beherrscht. Auf externer Ebene befinden sich Masken, Einbettung und Datenbankoperationen. Die Komponente *Maske* beinhaltet die Menüstrukturen und Masken zur Benutzerinteraktion. Die Komponente *Einbettung* ist als Einbettung von Konstrukten der Datenbanksprache in eine Programmiersprache zu verstehen. In den Bereich der *Datenbankoperation* fallen alle von Anwendern genutzten Datenbankoperationen, wie Anfragen oder Änderungen. Schließlich zählen *Anfragen* und *Updates* zur externen Ebene, die einen interaktiven Zugriff auf den Datenbestand ermöglichen. Der *Optimizer* dient zur Optimierung von Datenbankzugriffen, die Komponente *Auswertung* wertet die Ergebnisse von Anfragen und Änderungen aus und über die Komponente *Plattenzugriff* wird der Zugriff auf die physikalischen Platten gesteuert. Die am linken Rand dargestellten  $P_1 \dots P_n$  repräsentieren die verschiedenen Anwendungsprogramme.

Diese Komponenten eines Datenbanksystems können nochmals in fünf Klassen zusammengefasst werden. Die *Datendefinitionskomponente* resultiert aus der Dateiorganisation, der Sicht- sowie Datendefinition. Unter den *Programmierkomponenten* werden Datenbankoperationen, Einbettung und Masken vereint. Diese beinhalten eine vollständige Programmierumgebung, mit der die bereits oben beschriebenen Datenbankoperationen und Definition von Masken ermöglicht wird. Die *Benutzerkomponenten* stellen Möglichkeiten für Anfrage- und Änderungsoperationen auch für weniger versierte Anwender zur Verfügung. Die *Transformationskomponenten* wandeln die Anfrage- und Änderungsoperationen über Optimierer und Auswertung in Plattenzugriffskomponenten um. Als letzte und zentrale Klasse ist das *Data Dictionary* anzuführen. Dieses erhält die Daten von den Definitionskomponenten und leitet diese Informationen an die Programmier-, Benutzer- und Transformationskomponenten weiter [41].

Diese Beschreibung stellt lediglich eine vereinfachte Architektur eines Datenbankmanagementsystems dar. Für das in dieser Arbeit behandelte Thema ist diese Erklärung jedoch ausreichend. Um ein tiefergehendes Verständnis für Datenbankmanagementsysteme zu erhalten, sei auf die entsprechende Literatur verwiesen.

## 3.2. Datenbankmodelle

Als man in den 1960er Jahren damit begonnen hat, erste Datenbanksysteme auf Grundlage des hierarchischen Datenmodells oder Netzwerkmodells zu entwerfen, haben sich seitdem viele neue Anforderungen an Datenbanksysteme und dementsprechend auch viele neue Datenbankmodelle entwickelt. Unter einem Daten(bank)modell ist ein Modell zu verstehen, das die „zu beschreibenden und verarbeitenden Daten eines Anwendungsbereiches ... und ihrer Beziehungen zueinander“ [47] beschreibt. Das Datenmodell bildet also die theoretische Grundlage einer Datenbank. Anders ausgedrückt dient ein Datenmodell zur Erfassung und Darstellung der Informationsstruktur einer Anwendung [41].

Im Bereich von Datenbanken werden Datenmodelle einerseits als Entwurfsmodelle für die spätere Umsetzung verwendet. Sie fungieren als Kommunikationsmöglichkeit zwischen Entwickler und Auftraggeber. Eines dieser abstrakten Datenbankmodelle, das speziell für den Datenbankentwurf geeignet ist, ist das Entity-Relationship-Modell. Andererseits finden Datenmodelle auch als konkrete Datenbankmodelle Verwendung. Diese dienen zur Implementierung des zuvor entworfenen abstrakten Datenbankmodells.

Um die Informationsstruktur für das Konzept eines Datenbankmodells (im Weiteren auch als Datenmodell bezeichnet) darzustellen, bedarf es drei verschiedener Eigenschaften bzw. Bedingungen [41]:

- *statische Eigenschaften*: Dazu zählen Objekte und Beziehungen, inklusive der Standard-Datentypen, die Daten über die Beziehungen und Objekte darstellen können.
- *dynamische Eigenschaften*: Dies sind Operationen und Beziehungen zwischen den Operationen.
- *Integritätsbedingungen*: Hierunter sind Bedingungen an Objekten und Operationen zu verstehen.

Am Beispiel eines Ausschnitts einer Telemedizin-Datenbank sollen diese Eigenschaften bzw. Bedingungen kurz erläutert werden. Bei den statischen Eigenschaften werden Arzt oder Patient als Objekte bezeichnet. Die Beziehung zwischen diesen Objekten stellt die Behandlung eines Arztes gegenüber eines Patienten dar. Operationen auf Objekten, wie sie in den dynamischen Eigenschaften vorkommen, sind das Verordnen einer Therapie. Diese

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Therapie kann erst ausgesprochen werden, wenn vom Arzt eine Diagnose gestellt wird. Hier spricht man von Beziehungen zwischen Operationen. Als Integritätsbedingung kann schließlich festgelegt werden, dass jede Therapie einer Diagnose zuzuordnen ist oder dass eine einmal verordnete Therapie nur beendet werden kann [41].

Im Folgenden sollen zunächst das klassische Entwurfsmodell, das Entity-Relationship-Modell, und im Anschluss die gängigsten sowie für die Telemedizin wichtigsten konkreten Datenmodelle vorgestellt werden. Als sogenannte historische Modelle wird zunächst auf das *Netzwerkmodell* und das *hierarchische Datenmodell* eingegangen. Anschließend wird das in den letzten 30 Jahren wichtigste Datenmodell, das *relationale Datenmodell*, vorgestellt. Schließlich werden noch neuere Datenmodelle, wie objektorientiertes und objektrelationales Datenmodell, erläutert und moderne NoSql Entwicklungen aufgezeigt.

#### 3.2.1. Entity-Relationship-Modell

Die folgenden Erläuterungen zum Entity-Relationship-Modell werden aus [41] entnommen.

Im Jahre 1976 hat P. P. Chen einen Artikel veröffentlicht, in dem er das Entity-Relationship-Modell (ER-Modell) vorgestellt hat. Auch wenn es in den Jahren danach immer wieder angepasst wurde, ist es seit dieser Zeit das Standardmodell in der frühen Entwurfsphase der Datenbankentwicklung. Das Entity-Relationship-Modell umfasst eine graphische Veranschaulichung der Modellierung der Datenbank-Schemata. Dies beschreibt die Datenbankstruktur auf der abstrakten Ebene und wird als ER-Schema oder ER-Diagramm bezeichnet. Der große Vorteil dieser graphischen Darstellung ist die Einfachheit, so dass auch Laien bzw. Kunden den Datenbankentwurf verstehen können.

Das Entity-Relationship-Modell besteht aus drei Grundbegriffe, die wie folgt charakterisiert werden können:

- *Entity*: Dies ist ein Objekt oder ein Ereignis der realen Welt, das Informationen enthält, wie bspw. ein Arzt, ein Patient, ein Gerät oder eine Behandlungsmethode.
- *Relationship*: Dies spiegelt die Beziehung zwischen Entities wieder, z.B. behandelt ein Arzt einen Patienten, der Arzt verordnet dem Patienten eine Therapie, der Patient misst seinen Blutdruck, etc.
- *Attribut*: Attribute sind die Eigenschaften von Entities oder Relationships; ein Patient hat einen Namen, einen Wohnort, ein Geburtsdatum, usw.

Diese Begriffe entstammen dem englischen Sprachgebrauch. Für Entity gibt es keine adäquate deutsche Übersetzung, weswegen es im Weiteren nicht dem Deutschen angepasst wird. Für Relationship hingegen wird synonym das Wort Beziehung und für Attribut das Wort

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Eigenschaft verwendet.

In einer Datenbank werden nicht die Entities, wie Patient, als solches gespeichert, sondern vielmehr die Eigenschaften zu den einzelnen Entities. So werden für einen Patienten lediglich die Attribute Name, Geschlecht, Krankenkasse, etc. gespeichert.

Entities sind Objekte der realen Welt. In einem ER-Modell werden diese nicht einzeln mit ihren Ausprägungen dargestellt, sondern es werden Objekte mit gleichen Eigenschaften zu einer Einheit, sog. Entity-Typen, zusammengefasst. Bildlich werden Entity-Typen als Rechtecke dargestellt und der Name des Typs mittig eingetragen.

Die Beziehungen zwischen den Entities werden ebenso zu Beziehungstypen zusammengefasst. Das Modell soll zeigen, dass ein Arzt einen Patienten behandelt und nicht etwa, dass Dr. Schneider aus München Herrn Meier, Kassenpatient bei der AOK, behandelt. Ein Beziehungstyp verbindet mindestens zwei Entity-Typen, kann jedoch auch zwischen beliebig vielen Entity-Typen ( $n \geq 2$ ) als Verbindung fungieren. Verbindet ein Beziehungstyp nur zwei Entity-Typen, so spricht man von binären Beziehungstypen, bei einer größeren Anzahl an beteiligten Entity-Typen von  $n$ -stelligen Beziehungstypen. In der graphischen Notation werden Beziehungstypen als Raute dargestellt, wobei der Typ-Name in der Mitte der Raute steht. Durch eine gerade Linie werden dann die Entity-Typen mit den Beziehungstypen verbunden. Abbildung 3.3 a) zeigt exemplarisch den binären Beziehungstyp, ein Arzt behandelt einen Patienten, wohingegen in Abbildung 3.3 b) der  $n$ -stellige Beziehungstyp zu sehen ist, ein Arzt verordnet einem Patienten eine Therapie.

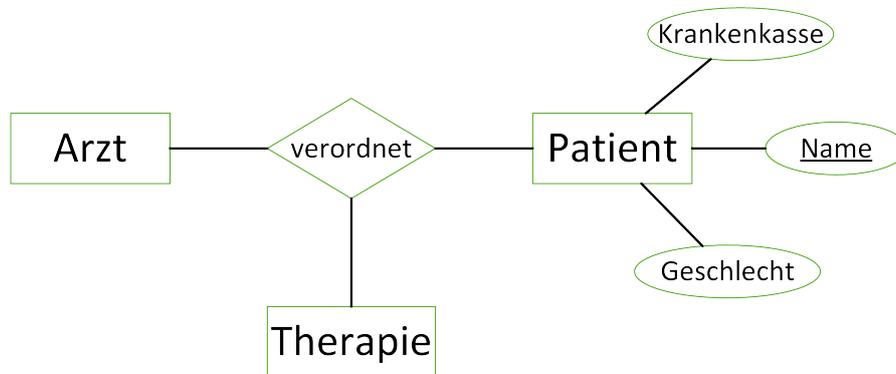
Grundsätzlich lassen sich Beziehungen noch in Stelligkeit und Funktionalität bzw. Kardinalität unterscheiden. Die Stelligkeit gibt die Anzahl der verbundenen Entity-Typen mit einem Beziehungstyp an. Die häufigste Form der Stelligkeit ist der binäre Beziehungstyp. Auf der anderen Seite gibt die Kardinalität die Anzahl der beteiligten Instanzen des jeweiligen Entity-Typs wieder. So könnte beispielsweise gefordert werden, dass ein Arzt keinen oder bis zu maximal 300 verschiedene Patienten behandeln darf. Solche Einschränkungen sind teilweise nötig, damit die Konsistenz der Daten gegenüber der realen Welt gewährleistet werden kann. Es lassen sich drei verschiedene Kardinalitäten unterscheiden:  $1 : 1$ ,  $1 : n$  bzw.  $n : 1$  sowie  $m : n$ -Beziehung, wobei  $m, n \in \mathbb{N}$ . Die Notation der Kardinalität im ER-Modell erfolgt in der Literatur auf unterschiedliche Weise. In dieser Arbeit findet die sogenannte Krähenfußnotation Verwendung. Wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist, repräsentiert der Krähenfuß das  $n$  in einer  $1:n$ -Beziehung. Anders ausgedrückt behandelt ein Arzt viele Patienten, aber die Patienten werden nur von einem Arzt behandelt.

Das Attribut stellt die Eigenschaft eines Entity-Typs dar, wobei alle Entities dieses Entity-Typs dieselben Eigenschaften haben. Des Weiteren besitzt ein Attribut Werte der Standarddatentypen, wie **int** (ganze Zahlen) oder **string** (Menge an Zeichen). Graphisch werden Attribute als ovaler Kreis mit dem Namen des Attributs in der Mitte dargestellt. Diese werden dann mit einer Linie mit dem Entity-Typ verbunden. In unserem Beispiel in Abbildung 3.3 b) sind diese Krankenkasse, Name sowie Geschlecht.

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich



(a) Binärer Beziehungstyp



(b)  $n$ -stelliger Beziehungstyp mit Attribute

**Abb. 3.3.:** Graphische Darstellung von Beziehungstypen mit Attribute, entlehnt aus [41]



**Abb. 3.4.:** Verwendete Notation für Kardinalität

Für die Darstellung in einem ER-Modell ist es wichtig, dass die Entities eines Entity-Typs eindeutig identifiziert werden können. Dies wird durch einige Attribute mit ihren Werten erreicht, etwa Vor- und Zuname eines Patienten, der ICD-Code einer Diagnose, etc. Diese Identifikation durch eine Attributmenge nennt man Schlüssel. Liegen mehrere solcher Schlüssel vor, so wird einer ausgewählt und als Primärschlüssel bezeichnet. Graphisch wird ein Schlüssel durch Unterstreichen des Attributnamens verkörpert (vgl. Abbildung 3.3 b) das Attribut Name).

In einem ER-Modell gibt es noch weitere Komponenten, wie abhängige Entity-Typen oder die IST-Beziehung. Diese werden aber an dieser Stelle nicht näher erläutert. Es wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

### 3.2.2. Hierarchische Datenbankmodelle

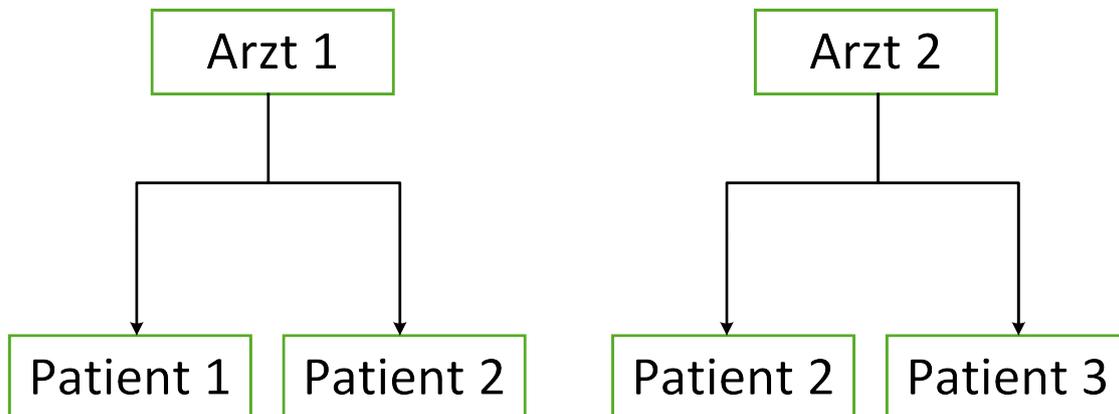
Das hierarchische Datenmodell ist historisch betrachtet das älteste Datenmodell. Es wurde bereits Ende der 1960er Jahre von IBM entwickelt und mit dem Datenbanksystem IMS

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

eingeführt. Während es in den 70er und 80er Jahren noch zu den am häufigsten verwendeten Datenmodellen zählte, spielt es heutzutage nur noch eine untergeordnete Rolle.

Die Grundstruktur des hierarchischen Datenmodells entspricht die eines Baumes oder einer Eltern-Kind-Beziehung. So besitzt jedes Eltern-Objekt viele Kinder-Objekte, wohingegen ein Kind-Objekt genau einem Eltern-Objekt zuzuordnen ist. Anders ausgedrückt kann ein Datensatz höchstens mit einem übergeordneten, sowie mehreren untergeordneten Datensätzen in Beziehung stehen. Mathematisch ausgedrückt spricht man hier von einer 1:n Beziehung unter den Datensätzen zueinander. Dabei ist zu beachten, dass die Adressverknüpfungen gemeinsam mit den Daten gespeichert werden [48], [41].

Betrachten wir einen kleinen Ausschnitt einer Telemedizin-Datenbank, so sind bei einem Arzt verschiedene Patienten in Behandlung, in unserem Beispiel zwei. Der Patient 2 ist sogar bei zwei verschiedenen Ärzten. Aufgrund der hierarchischen Struktur sind hier für die Beziehungen Arzt 1 - Patient 2 und Arzt 2 - Patient 2 jeweils eine Adressverknüpfung notwendig. In Abbildung 3.5 ist die Umsetzung dieser Beziehungen als hierarchisches Datenmodell gezeigt.



**Abb. 3.5.:** Hierarchisches Datenmodell

Solche Hierarchien sind leicht vorstellbar, zumal man ihnen im Alltag immer wieder begegnet. Dadurch ist eine schnelle Umsetzung möglich.

Im Wesentlichen werden Operationen innerhalb einer hierarchischen Struktur ausschließlich von oben nach unten durchlaufen bzw. auf gleicher Ebene von links nach rechts. Dies ermöglicht eine äußerst effiziente Implementierung dieser Operationen. Anders ausgedrückt, sind lesende Zugriffe äußerst schnell, wohingegen lesende Verknüpfungen sehr unflexibel sind.

### 3.2.3. Netzwerkdatenbankmodelle

Das Netzwerkmodell zählt ähnlich wie das hierarchische Datenmodell zu den Datenmodellen erster Generation. Es wurde 1971 von dem Normungsausschuss CODASYL-DBTG (Conference on Data Systems Language - Data Base Task Group) festgelegt, weswegen es auch als CODASYL-Datenbankmodell bezeichnet wird.

Das Netzwerkmodell ist dem hierarchischen Modell sehr ähnlich. Die Adressverweise werden ebenso in der Datenbasis gespeichert. Jedoch können beim Netzwerkmodell die einzelnen Kind-Objekte zu mehr als nur einem Eltern-Objekt Beziehungen haben. Die Baumstruktur wird erweitert und es werden Netzwerke gebildet, so dass auch eine n:m-Beziehung möglich ist.

Die Kanten in einem Netzwerkdatenmodell werden als Set-Typen bezeichnet, die zwei Entity-Typen in Beziehung setzen. Die Knoten bezeichnet man als Record-Typen. Für eine konkrete Set-Ausprägung übernimmt ein Entity-Typ die Rolle des owner (Besitzer) gegenüber eines anderen Entity-Typs, der als member (Teilnehmer) bezeichnet wird. Die Abbildung 3.6 zeigt die Ausprägung „ein Arzt behandelt einen Patienten“ schematisch.

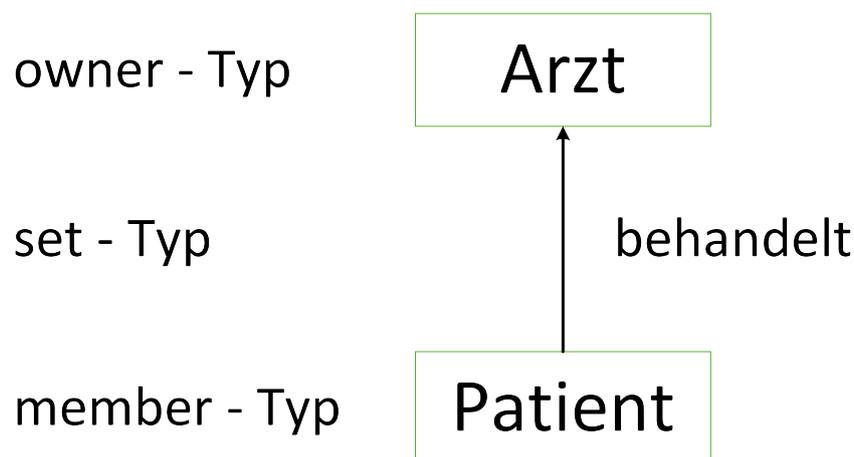


Abb. 3.6.: Ausprägung eines Netzwerkmodells

Grundsätzlich können in einem Netzwerkdatenmodell nur 1:n-Beziehungen dargestellt werden. Um nun auch n:m-Beziehungen realisieren zu können, hilft man sich mit sogenannten Kett-Record-Typen. Bemüht man sich dem Beispiel aus Kapitel 3.2.2, so sieht das Schema als Netzwerkmodell wie in Abbildung 3.7 aus. Dabei verkörpern die nicht beschriebenen Quadrate die Kett-Record-Typen.

Diese Hilfskonstruktion ermöglicht somit n:m-Beziehungen; ein Patient kann bei verschiedenen Ärzten in Behandlung sein. Im Gegensatz zum hierarchischen Datenmodell muss hier nicht jedes Mal der Pfad von oben durchlaufen werden. Die Beziehungen sind vielmehr

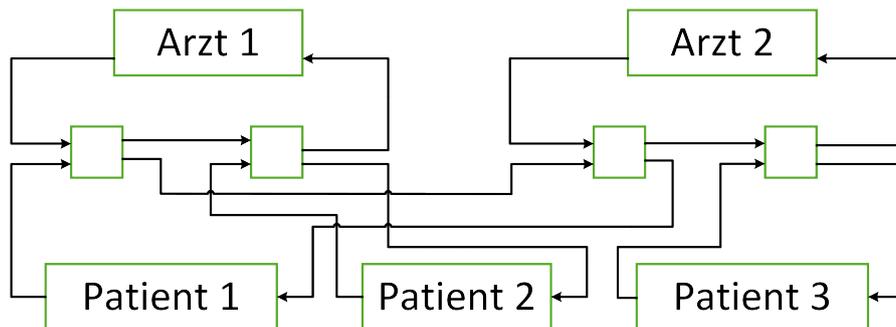


Abb. 3.7.: Ausprägung eines Netzwerkmodells

netzwerkartig miteinander verknüpft. Dies erhöht die Flexibilisierung der lesenden Zugriffe je nach Komplexität des Adressnetzes sehr deutlich, auch wenn die Adressverweise ebenso bereits beim Einfügen der Daten gespeichert werden [49], [41], [50].

### 3.2.4. Das relationale Datenmodell

Anfang der siebziger Jahre hat Codd das Relationenmodell konzipiert. Seitdem zählt es zu dem am weitesten verbreitete Datenbankmodell. Im Gegensatz zu den bis dahin gängigen satzorientierten Datenmodellen, wie hierarchisches Modell und Netzwerkmodell, ist das relationale ein mengenorientiertes Datenmodell. Es ist sehr einfach strukturiert und besteht im wesentlichen aus flachen Tabellen (Relationen). Die Verarbeitung und Verknüpfung der darin gespeicherten Daten erfolgt durch entsprechende Operatoren ausschließlich mengenorientiert [42].

#### 3.2.4.1. Definition des relationalen Modells

Die Objekttypen in einem Relationenmodell werden durch Relationenschemata beschrieben. Ein Relationenschema ist die Menge von Attributen, die die gemeinsamen Eigenschaften der Objekte verkörpern. Die Attribute bekommen Domänen zugeordnet, wie die Standard-datentypen integer, string oder boolean. Ein Datenbankschema besteht aus der Menge von Relationenschemata.

Eine Relation  $R$  ist definiert als eine Teilmenge des kartesischen Produkts der vorhandenen Domänen. Mathematisch ausgeschrieben bedeutet das folgendes:

Gegeben seien  $n$  Domänen  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Daraus folgt für die Relation  $R$ :

$$R \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$$

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Ein Element einer Relation wird als Tupel bezeichnet.

Zur besseren Veranschaulichung der eben eingeführten Begriffe wird ein Ausschnitt der Relation Patient als Tabelle in Abbildung 3.8 dargestellt.

Patient			
ID	Vorname	Nachname	Wohnort
1	Hans	Meier	München
2	Thomas	Schmid	Landshut
3	Kathrina	Berger	Passau
...	...	...	...

**Abb. 3.8.:** Veranschaulichung der Begriffe Relationenschema und Relation

In der Tabellenform entsprechen die Spaltennamen den Attributen. Diese müssen in einer Relation eindeutig benannt sein, jedoch dürfen sie in zwei unterschiedlichen Relationen denselben Namen besitzen. Die Zeilen einer Tabelle werden als Tupel bezeichnet. Die Attributwerte stammen im oben genannten Beispiel aus den Wertebereichen integer, string, string und string. Danach lässt sich das Relationenschema, wie folgt, darstellen:

Patient: {[ID : integer, Vorname : string, Nachname : string, Wohnort : string]}

Bei dieser Schreibweise geben die eckigen Klammern die Attribute sowie den Typ der Attribute an. Mit den geschweiften Klammern wird angedeutet, dass es sich um eine Menge an Tupeln handelt. Somit wird ersichtlich, dass eine Relationsausprägung als eine Menge an Tupeln aufzufassen ist [42], [41].

#### 3.2.4.2. Die Umsetzung vom konzeptuellen in ein relationales Schema

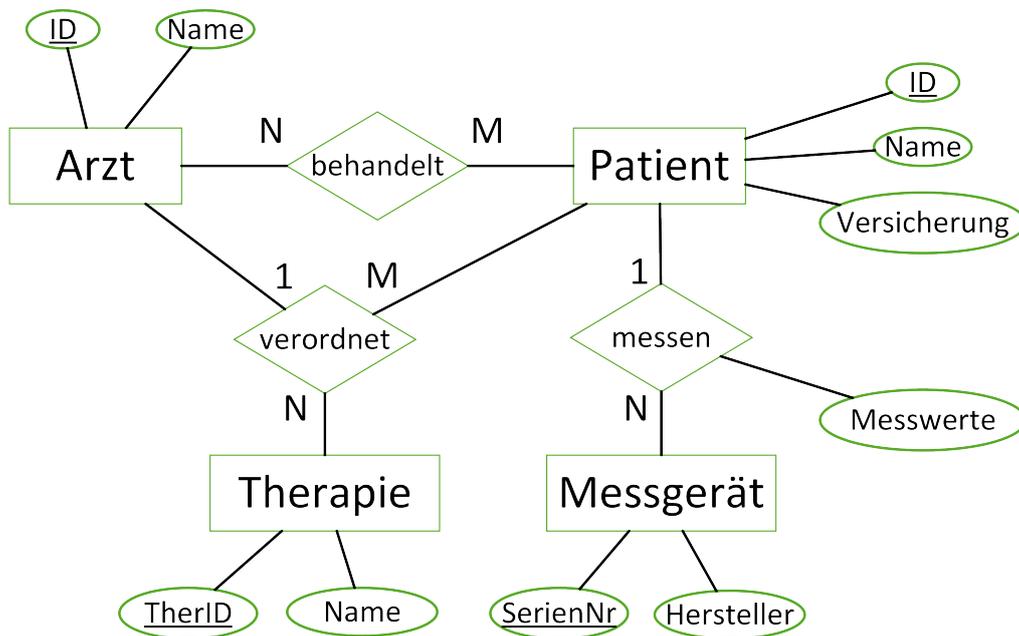
Entity-Typen und Beziehungstypen im Entity-Relationship-Modell werden im relationalen Modell jeweils auf eine Relation abgebildet. Allgemein formuliert, enthält eine Relation Schlüsselattribute der Entity-Typen  $E_1, \dots, E_n$ , sogenannte Fremdschlüssel, und die der Beziehung zugeordneten Attribute  $A_1^R, \dots, A_{k_R}^R$ . In der oben dargestellten Form sieht die Relation für  $n$ -stellige Beziehungen folgendermaßen aus [42]:

$$R : \{[A_{11}, \dots, A_{1k_1}, A_{21}, \dots, A_{2k_2}, \dots, A_{n1}, \dots, A_{nk_n}, A_1^R, \dots, A_{k_R}^R]\}$$

Der Initialentwurf der Modellierung der Beziehungstypen lässt sich oftmals optimieren. Dies ist jedoch nur für 1:1-, 1:N- oder N:1-Beziehungen möglich. Die Optimierung erfolgt durch Zusammenfassen gleicher Schlüssel unterschiedlicher Relationen. Als Grundlage für das

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

komme Beispiel dient das Entity-Relationship-Modell aus Abbildung 3.9.



**Abb. 3.9.:** Konzeptuelles, vereinfachtes Schema eines telemedizinischen Assistenzsystems

Für das Schema des telemedizinischen Assistenzsystems ergibt sich folgende Modellierung der Beziehungstypen:

behandelt : {[ArztID:integer, PatientID:integer]}  
 messen : {[SerienNr:integer, PatientID:integer, Messwerte: float]}  
 verordnet : {[PatientID:integer, TherID: integer, ArztID:integer]}

Um nun eine Optimierung des vorliegenden Schemas zu erreichen, werden Relationen mit gleichem Schlüssel zusammengefasst. Dazu werden die einzelnen Beziehungstypen nochmals genauer betrachtet.

Die Relationen einer 1:N-Beziehung können grundsätzlich zusammengefasst werden. Als Beispiel sollen hier folgende Relationen dienen:

Messgerät : {[SerienNr, Hersteller]}  
 Patient : {[ID, Name, Versicherung]}  
 messen : {[SerienNr, PatientID, Messwerte]}

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Im Entity-Typ Messgerät kann ein zusätzliches Attribut namens *gemessenVon* eingeführt werden, das dann als sogenannter Fremdschlüssel auf die Relation Patient fungiert. Die Werte von *gemessenVon* entsprechen hierbei den ID-Werten der Patienten. Im genannten Beispiel bleiben demnach zwei relevante Relationen im Schema:

Messgerät : {[SerienNr, Hersteller, gemessenVon]}

Patient : {[ID, Name, Versicherung]}

Zu beachten ist, dass ein zusätzliches Attribut als Fremdschlüssel nur in der mehrfach vorkommenden Relation eingefügt werden kann, da sonst Redundanzen von Teilen der gespeicherten Informationen entstehen können.

Ähnlich verhält es sich mit 1:1-Beziehungen. Hier hat man die Freiheit, den Fremdschlüssel in eine der beiden Relationen zu integrieren. Es ist jedoch zu beachten, dass Null-Werte vermieden werden sollten. Ein Null-Eintrag ist als *unbekannt* zu verstehen. Wählt man eine unkluge Fremdschlüssel-Beziehung, so können viele Tupel Null-Werte enthalten, die die Datenmenge unnötig vergrößern würden.

Schließlich sind Relationen mit einer N:M-Beziehung nicht optimierbar. Dies wäre nicht sinnvoll und würde zu unerwünschten Nebeneffekten führen [42].

Betrachtet man nach diesen Erläuterungen das Schema des telemedizinischen Assistenzsystems aus Abbildung 3.9 nochmals, so enthält es nach der Optimierung folgende Relationen:

Arzt : {[ID : integer, Name : string]}

Patient : {[ID : integer, Name : string, Versicherung : string]}

Therapie : {[TherID : integer, Name : string]}

Messgerät : {[SerienNr : integer, Hersteller : string, gemessenVon : integer]}

behandelt : {[ArztID : integer, PatientID : integer]}

verordnet : {[PatientID : integer, TherID : integer, ArztID : integer]}

#### 3.2.4.3. Relationale Anfragemodelle

Neben der Strukturbeschreibung einer relationalen Datenbank bedarf es auch Sprachen, mit denen Datenbankinhalte gesucht und verändert werden können. Man unterscheidet zwischen der relationalen Algebra und dem Relationenkalkül. Diese Sprachen wurden speziell für relationale Datenbanken konzipiert. Das Relationenkalkül ist eine rein deklarative Sprache, was bedeutet, dass lediglich das gewünschte Ergebnis angegeben werden muss, nicht jedoch der Weg der Auswertung. Dem gegenüber ist die relationale Algebra als prozedurale Sprache aufzufassen, die im Ausdruck implizit den Weg der Abarbeitung vorgibt. Für beide Sprachen erhält

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

man als Ergebnis wiederum Relationen. Man bezeichnet sie deshalb auch als abgeschlossen [42].

Bevor nun diese zwei Sprachen näher erläutert werden, sollen zunächst allgemeine Kriterien für Anfragesprachen nach [41] aufgezeigt werden.

Eine Anfragesprache soll derart gestaltet sein, dass der Benutzer die Anfrage leicht formulieren können muss, ohne ein Programm schreiben zu müssen (*Ad-hoc-Formulierung*). Des Weiteren soll sie *deskriptiv* sein, d.h. der Benutzer soll lediglich das gewünschte Ergebnis formulieren, nicht jedoch die Abarbeitungsreihenfolge. Durch die *Mengenorientiertheit* soll gewährleistet werden, dass jede Operation auf Mengen von Daten gleichzeitig arbeiten soll, nicht navigierend auf einzelnen Elementen („one-tuple-at-a-time“). Ferner sollen Anfragesprachen *abgeschlossen*, d.h. das Ergebnis einer Anfrage ist wieder eine Relation, *adäquat*, was meint, alle Konstrukte des zugrundeliegenden Datenmodells werden unterstützt, sowie *orthogonal* sein; letzteres bedeutet, dass die Sprachkonstrukte weitestgehend frei wählbar sein sollen. Weitere wichtige Kriterien sind die *Optimierbarkeit* und *Effizienz*. Eine Anfragesprache soll aus wenigen Operationen mit Optimierungsregeln bestehen und jede Operation soll effizient ausführbar sein. Außerdem dürfen im Sinne der *Sicherheit* für syntaktisch korrekte Anfragen keine Endlosschleifen oder unendliche Ergebnisse erzeugt werden. Schließlich sollen für Anfragesprachen die *Eingeschränktheit* und die *Vollständigkeit* erfüllt werden. Unter der Eingeschränktheit ist das Verbot einer kompletten Programmiersprache für Anfragesprachen zu verstehen, wohingegen die Vollständigkeit fordert, dass eine Sprache mindestens die Anfragen einer Standardsprache, wie der relationalen Algebra oder dem Relationenkalkül ausdrücken können muss.

Nach der Erläuterung der allgemeinen Kriterien wird als erstes auf die Operatoren der Relationenalgebra eingegangen und diese kurz beschrieben:

#### ▪ **Selektion**

Hier werden die Tupel einer Relation ausgewählt, die eine bestimmte Bedingung, das sogenannte Selektionsprädikat, erfüllen. Allgemein ist das Selektionsprädikat eine Formel  $F$ , die einen Attributnamen der Argumentrelation  $R$ , eines der arithmetischen Vergleichsoperatoren  $=, <, \leq, >, \geq, \neq$  sowie einen der logischen Operatoren  $\wedge, \vee$  und  $\neg$  enthält. Es sieht folgendermaßen aus [41], [42]:

$$\sigma_F(R)$$

#### ▪ **Projektion**

Eine Projektion betrifft die Attribute einer Relation. Als Symbol wird  $\Pi$  verwendet und enthält die Menge der Attributnamen im Subskript und die Relation in Klammern, d.h.:

$$\Pi_F(R)$$

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

- **Vereinigung**

Zwei Relationen können zu einer Relation zusammengefasst werden, wenn sie ein gleiches Schema haben. Unter Umständen können in der Ergebnis-Relation doppelte Tupel auftreten; diese werden zuvor entfernt. Als Beispiel kann eine Anfrage gestellt werden, die alle Patienten und Ärzte als Relation zurückgibt:

$$\Pi_{ID,Name}(Arzt) \cup \Pi_{ID,Name}(Patient)$$

- **Mengendifferenz**

Die Mengendifferenz der zwei Relationen  $R$  und  $S$  mit dem gleichen Schema

$$R - S$$

ist definiert als die Menge der Tupel, die zwar in  $R$  aber nicht in  $S$  vorkommen.

- **Umbenennung**

Bei Anfragen, bei denen dieselbe Relation mehrfach angewandt wird, wie etwa bei Differenzen, Vereinigungen oder Verbänden, ist es notwendig, dass die Attributnamen unbenannt werden. Dies gründet drauf, dass bei Mehrfachanwendung der Relationen eine vollständige Kopie der Relation erzeugt wird. Für die Umbenennung dient folgende Schreibweise, wobei der neue Attributname im Subskript und der alte in Klammern stehen:

$$\rho_{\text{neuer Attributname}}(\text{alter Attributname})$$

- **Verbund**

Der Verbund, oder auch Join genannt, ist das Zusammenhängen der Tupel zweier Relationen  $R$  und  $S$  über gleichbenannte Spalten und Werten und wird mit

$$R \bowtie S$$

bezeichnet. Nimmt man an, dass die Relation  $R$  insgesamt  $m + k$  Attribute  $A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_k$  und die Relation  $S$   $n + k$  Attribute  $B_1, \dots, B_k, C_1, \dots, C_n$  hat, so lautet das Ergebnis unter der Annahme, dass  $R$  und  $S$  nur  $B_1, \dots, B_k$  als gleichbenannte Attribute haben:

$$R \bowtie S = \Pi_{A_1, \dots, A_m, R.B_1, \dots, R.B_k, C_1, \dots, C_n} (\sigma_{R.B_1=S.B_1 \wedge \dots \wedge R.B_k=S.B_k} (R \times S)),$$

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

wobei  $(R \times S)$  als Kreuzprodukt zwischen der Relation  $R$  und  $S$  zu verstehen ist.

Neben diesem beschriebenen sogenannten *natürlichen Join* gibt es noch weitere Join Arten, wie etwa *linker äußerer Join* oder *Semi-Join*. Der Unterschied ist der, welche Tupel der Argumentrelation auf jeden Fall erhalten bleiben. Für eine genauere Beschreibung wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Für Optimierungsregeln des Verbunds ist noch zu beachten, dass dieser kommutativ, d.h.  $R \bowtie S = S \bowtie R$ , und assoziativ, d.h.  $(R \bowtie S) \bowtie T = R \bowtie (S \bowtie T)$ , ist.

Die soeben erwähnten Operationen sind die Standard-Operationen der relationalen Algebra. Zudem gibt es noch weitere Operationen wie den Mengendurchschnitt oder die Division. Dies sind jedoch Kombinationen aus den bereits beschriebenen Operationen und werden nicht näher beschrieben.

In einem zweiten Abschnitt wird nun das Relationenkalkül näher erläutert. Im Gegensatz zur Relationenalgebra, in der der Berechnungsweg mit angegeben wird, ist das Relationenkalkül auf das Ergebnis, nicht auf die Herleitungsvorschrift fixiert. Beide Sprachen sind gleich mächtig, was nichts anderes bedeutet, als dass Anfragen der Relationenalgebra ebenso im Relationenkalkül ausgedrückt werden können.

Für das Relationenkalkül existieren zwei Ausprägungen, das relationale Tupelkalkül und das relationale Domänenkalkül. Wie die Namen schon intuitiv zu verstehen geben, sind beim relationalen Tupelkalkül die Variablen des Kalküls an die Tupel einer Relation gebunden, wohingegen sie beim relationalen Domänenkalkül an die Domänen gebunden sind. Auch hier ist eine Anfrage im Tupelkalkül ebenso im Domänenkalkül möglich; beide Ausprägungen sind gleich mächtig [42].

Anfragen im Tupelkalkül haben die Form

$$\{t \mid P(t)\},$$

wobei  $t$  eine freie Tupelvariable ist und  $P$  ein Prädikat, das erfüllt sein muss, damit  $t$  im Ergebnis erscheint. Das Prädikat selbst besteht aus Atome oder Formeln. In diesem Kontext können Atome Tupelvariablen  $t$ , die durch  $t \in R$  an die Relation  $R$  gebunden sind, Prädikate der Form  $t.A_i \Theta s.A_j$ , mit den Tupelvariablen  $t$  und  $s$ , den Attributen  $A_i$  und  $A_j$  sowie  $\Theta$  bestehend aus einer der Vergleichsoperatoren oder Prädikate der Form  $t.A_i \Theta c$ , wobei  $c$  eine Konstante aus dem Wertebereich des Attributs  $A_i$  ist. Formeln selbst sind aufgebaut aus Atomen oder aus der Existenzquantifizierung für das Prädikat  $Q(t)$  gemäß  $\exists t \in R(Q(t))$  bzw. der Allquantifizierung gemäß  $\forall x \in R(Q(t))$  [41], [42].

Zum besseren Verständnis sollen hier zwei Beispiel angeführt werden. Dazu wird das ER-Modell aus Abbildung 3.9 betrachtet. Als erste, sehr einfache Abfrage sollen alle Patienten, die bei der Techniker Krankenkasse (TK) versichert sind, aufgelistet werden:

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

$$\{p \mid p \in Patient \wedge p.Versicherung = 'TK'\}$$

An dieser Anfrage ist deutlich zu sehen, dass das Tupel  $p$  in der Relation Patient vorliegen und für das Attribut Versicherung den Wert 'TK' besitzen muss.

Das zweite Beispiel zeigt eine Anfrage, in der alle Patienten, die Messgeräte der Firma AND besitzen, aufgelistet werden:

$$\{p \mid p \in Patient \wedge \forall m \in Messgerät(m.gemessenVon = p.ID \Rightarrow m.Hersteller = 'AND')\}$$

Beim Domänenkalkül werden Variablen an den Wertemengen von Attributen gebunden. Allgemein lässt sich eine Anfrage im Domänenkalkül wie folgt darstellen:

$$\{[v_1, \dots, v_n] \mid P(v_1, \dots, v_n)\},$$

wobei  $v_1, \dots, v_n$  Attributwerte darstellen und als Prädikat mit den freien Variablen  $v_1, \dots, v_n$  zu verstehen ist. Das Domänenkalkül besteht ebenso wie das Tupelkalkül aus Atomen und Formeln. Bei den Atomen wird jedoch hier eine Sequenz von Domänenvariablen an eine Relation gebunden.

Als Beispiel soll die Anfrage dienen, den Namen und die Versicherung der Patienten anzuzeigen, die eine Therapie mit dem Namen „Bewegungstherapie“ verordnet bekommen haben:

$$\{[n, v] \mid \exists p([i, n, v] \in Patient \wedge \exists t([t, i] \in verordnen \wedge \exists a([t, a] \in Therapie \wedge a = 'Bewegungstherapie'))))\}$$

Wichtig ist noch zu erwähnen, dass Ausdrücke des Tupelkalküls, aber auch des Domänenkalküls sichere Ausdrücke darstellen müssen. Sie dürfen keine unendlich viele Tupel als Ergebnisrelation liefern. Dies wird durch sogenannte Domänen einer Formel erreicht.

#### 3.2.5. Objektorientiertes Datenmodell

In diesem Kapitel wird kurz das objektorientierte Datenmodell beschrieben, ehe in Kapitel 3.2.6 auf das objektrelationale Konzept eingegangen wird.

Die Bedeutung objektorientierter Datenbanksysteme (ODBS), die auf dem objektorientierten Datenmodell fußen, spielen heutzutage eine eher untergeordnete Rolle. Sie wurden in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt, da man erkannte, dass die relationalen Datenbanksysteme für komplexere Anwendungsbereiche, wie beispielsweise ingenieurwissenschaftliche Entwurfsanwendungen oder Multimedia-Anwendungen, unzureichend sind. So

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

ist zum einen die Segmentierung nicht immer wünschenswert; z.B. muss ein geometrisches Objekt, das in einer relationalen Datenbank auf unterschiedliche Relationen aufgeteilt ist, über Verbund-Operationen zusammengebaut werden. Dies ist mühsam und oft zeitaufwendig. Auch ist der Bedarf an künstlichen Schlüsselattributen gegeben, um Tupel eindeutig identifizieren zu können. Dies bedeutet zusätzlichen Speicher und Verwaltungsaufwand. Des Weiteren haben Objekte ein anwendungsspezifisches Verhalten, wie etwa die Rotation von geometrischen Objekten. Dies wird im relationalen Schema nicht berücksichtigt und kann nur außerhalb der DBMS umgesetzt werden. Schließlich fehlen externe Programmierschnittstellen, die nur durch umständliche Anwendungsprogrammierung substituiert werden können. Man bezeichnet dies auch als „Impedance Mismatch“ [42].

Diesen Nachteil der relationalen Datenmodellierung kann man durch objektorientierte Datenmodelle vermeiden. Dies erfolgt dadurch, dass Daten gemeinsam mit ihren Funktionen in einem Objekt gespeichert werden. Diese Idee fußt auf den objektorientierten Programmiersprachen (C++, Java, etc.), die vor allem in den oben erwähnten komplexeren Anwendungsbereichen, für die relationale Datenbanksysteme unzureichend sind, bereits verwendet wurden.

Für objektorientierte Datenbanksysteme hat sich erst nach einiger Zeit mit dem ODMG-Standard ein de-facto Standard durchgesetzt. Dieser geht auf die Gründung der *Object Database Management Group* (ODMG) zurück, die sich aus verschiedenen Herstellern von objektorientierten Datenbankprodukten zusammensetzt. Als Ziel wurde ein Standard für eine möglichst einfache Einbindung in bereits bestehende Systeme und Sprachen, wie C++, Smalltalk oder Java ausgegeben. Dies resultierte darin, dass ein Objektmodell samt Datenbank-Konzepte, eine Objektdefinitionssprache ODL (Object Definition Language), eine Schnittstelle für die Programmiersprachen C++, Smalltalk und Java, eine Anfragesprache namens OQL (Object Query Language) sowie das Austauschformat OIF (Object Interchange Format) festgesetzt wurden [41].

In einem objektorientierten Modell besteht ein Objekt aus drei Bestandteilen: Identität, Typ und Wert. Die Identität meint, dass es eine systemweit eindeutige und sich während der Objektlebenszeit nicht verändernde Objektidentität, einen sogenannten Objektidentifikator (OID), gibt.

Durch den Objekttyp (auch aus dem Englischen stammend *class* genannt) werden Struktur und Verhalten eines Objektes definiert. Als Instanzen werden dabei Objekte bezeichnet, die zu einem Objekttyp gehören. Die Menge aller Instanzen eines Typs werden Extension (engl. *extent*) genannt.

Jedes Objekt hat zu einem bestimmten Zeitpunkt einen bestimmten Wert bzw. Zustand. Der Wertebereich erstreckt sich dabei nicht nur über eine nicht weiter zerlegbare Zeichenkette, wie ein *string*, *integer* oder *boolean*, sondern auch über komplexere Strukturen, wie Mengen oder andere Objekte [42].

Wie soeben beschrieben, wird ein Objekttyp durch die Strukturbeschreibung der Instanzen, der Verhaltensbeschreibung der Instanzen und der Typeigenschaften definiert. Zum besseren Verständnis soll hier aus dem bereits bekannten Telemedizin-Modell die Klassen Verordnen,

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Arzt, Patient sowie Therapie aufgezeigt und anschließend erläutert werden. Das zugrundeliegende ER-Modell ist in Abbildung 3.10 nochmals skizziert.

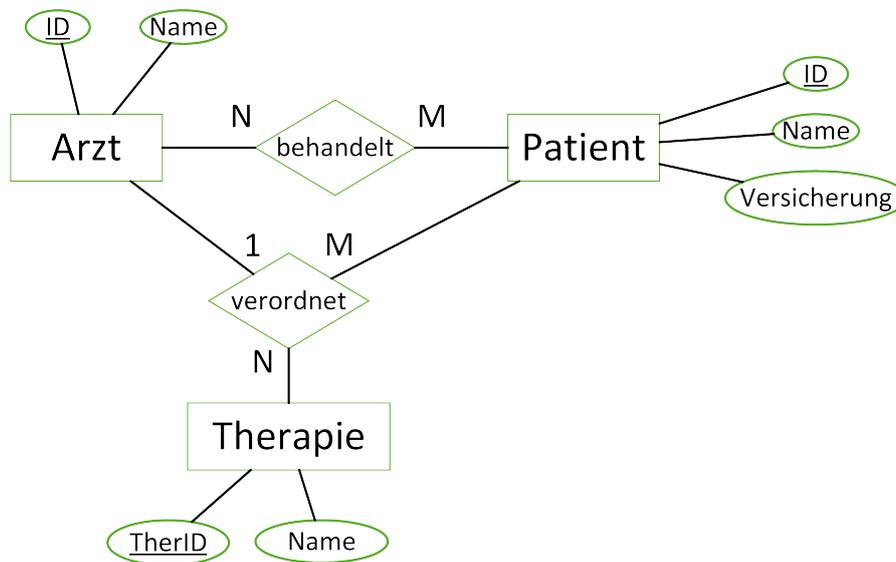


Abb. 3.10.: Ausschnitt des ER-Modells

```

class Verordnen {
    attribute struct Datum { short Tag; short Monat; short Jahr; } VerDatum;
    relationship Arzt Therapeut inverse Arzt::hatVerordnet
    relationship Patient Therapierter inverse Patient::bekommtVerordnet
    relationship Therapie Inhalt inverse Therapie::wurdeVerordnet
};

class Arzt (extent AlleÄrzte key ID) {
    attribute long ID;
    attribute string Name;
    relationship set<Patient> behandelt inverse Patient::Behandelte;
    relationship set<Verordnen> hatVerordnet inverse Verordnen::Therapeut;
};

class Patient (extent AllePatienten key ID) {
    attribute long ID;
    attribute string Name;
    attribute string Versicherung;
    relationship set<Arzt> Behandelte inverse Arzt::behandelt;
    relationship set<Verordnen> bekommtVerordnet inverse Verordnen::Therapierter;
};

class Therapie (extent AlleTherapien key TherID) {
    
```

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

```
attribute long TherID;  
attribute string Name;  
relationship set(Patient) behandelt inverse Patient::Behandelte;  
relationship set(Verordnen) wurdeVerordnet inverse Verordnen::Inhalt;  
};
```

Für ternäre, d.h.  $n > 3$ -stellige Beziehungen wird im Objektmodell ein eigenständiger Objekttyp benötigt. Dieser ist in der Klasse Verordnen wiedergegeben. Durch **attribute** werden die einzelnen Attribute der Objekte samt Wertebereich und Attributname dargestellt. Wie am Attribut Datum in der Klasse Verordnen zu sehen ist, können Attribute im objektorientiertem Datenmodell auch als Tupel-Strukturen definiert werden. Mit Hilfe der **relationship**-Anweisung können Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten spezifiziert werden. Diese muss jedoch in beiden bzw. allen Objekttypen, die an dieser Beziehung teilhaben, eingefügt werden. Handelt es sich um eine  $1 : n$ -Beziehung oder, wie im Falle der Beziehung *behandelt*, um eine  $m : n$ -Beziehung, so bedarf es zusätzlich des Mengenkonstruktors `set(...)`. Der Rückbezug zum anderen Objekttyp wird über die **inverse**-Anweisung erreicht. Schließlich können durch **extent** und **key** Typeigenschaften definiert werden. Mit **extent** wird ein Container für in der Datenbank zu speichernde Instanzen festgelegt, wohingegen mit **key** die Eindeutigkeit für jeden Objekttyp innerhalb der Extension gewährleistet wird. Dies ist beispielsweise für Anfragen oder der Indexverwaltung zur Unterstützung einer effizienten Suche notwendig [42],[41].

Ein letzter wichtiger Aspekt des objektorientierter Datenmodells ist die Vererbung und Subtypisierung. Das Grundkonzept hierbei lautet, dass Gemeinsamkeiten eines Objekts in einem Obertyp gespeichert werden, wohingegen die Unterschiede im Untertyp bleiben. Die Untertypen erben zudem alle Eigenschaften des Obertyps. Eine wesentliche Erhöhung der Flexibilität des Systems wird durch die sogenannte Substituierbarkeit erreicht. Dies meint, dass „eine Untertyp-Instanz überall dort einsetzbar ist, wo eigentlich eine Instanz eines Obertyps gefordert ist“ [42].

#### 3.2.6. Objektrelationales Datenmodell

Das objektorientierte Datenmodell hat ebenso wie das relationale Datenmodell gewisse Nachteile. So existieren aufgrund der geringen Verbreitung von objektorientierten Datenbanksystemen nur wenig kompatible Schnittstellen nach außen. Der wesentlich schwerwiegendere Nachteil ist aber die schwindende Leistungsfähigkeit von Transaktionen mit der Zunahme der zu verarbeitenden Daten [51].

Aufgrund der Unzulänglichkeiten sowohl des relationalen als auch objektorientierten Datenmodells wurde versucht, objektorientierte Konzepte in das erfolgreiche Relationenmodell zu integrieren und die ausgereifte Technologie relationaler Datenbanksysteme auf die Anwendung beliebiger Daten auszuweiten. Das daraus entstandene Modell wird als objektrelationales Datenmodell bezeichnet [52].

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

Das objektrelationale Datenbankmodell kombiniert das einfach strukturierte Relationenmodell mit den komplexeren Strukturen des Objektmodells. Dafür ist es nötig, Objekte und Klassen auf Relationen abzubilden. Um dieses Vorhaben umzusetzen, bedarf es u.a. sogenannter Typkonstruktoren. Mit Hilfe von Typkonstruktoren können neue Datentypen aus den Basisdatentypen, wie `integer`, `string`, etc. oder anderen komplexen Datentypen erstellt werden. Zu den Typkonstruktoren zählen z.B. der `Tupel`-, `Set`-, `Bag`-, `List`- und `Array`-Typkonstruktor. Der *Tupel-Typkonstruktor*, auch als `Row-Typkonstruktor` bezeichnet, fasst eine feste Anzahl typisierter Datenkomponenten zu einem komplexen Wert zusammen. Die einzelnen Komponenten werden über Feldnamen identifiziert. Als Operationen stehen das Erzeugen von Tupeln sowie der Zugriff auf die einzelnen Komponenten zur Verfügung. Als Beispiel für einen `Tupel-Typkonstruktor` diene der in den meisten Datenmodellen vordefinierte Standarddatentyp `Datum`.

```
Datum: tuple(Tag: integer, Monat: integer, Jahr: integer)
```

Durch den *Set-Typkonstruktor* wird eine mathematische Menge von homogenen Elementen ohne Reihenfolge und Duplikate erzeugt. Beispielsweise kann ein Datentyp für ein Attribut deklariert werden, das eine Menge von Ärzten verwalten soll.

```
declare Ärzte set(Name VARCHAR(50))
set Name = set('Josef Meier', 'Max Huber', 'Franz Andechsberger')
```

Für den `Set-Typkonstruktor` sind verschiedene Operationen, wie `set`, `insert`, `remove`, `in`, `union`, `intersection`, `difference` und `count` verfügbar, die hier aber nicht näher beschrieben werden. Auch Kombinationen aus `set` und `tuple` sind möglich und entsprechen der Definition einer klassischen Relation.

Der *Bag*- oder *Multiset-Typkonstruktor* erlaubt im Gegensatz zum `Set-Typkonstruktor` auch Duplikate. Er beschreibt demnach endliche, homogene Multimengen.

Unter dem `List-Typkonstruktor` sind Multimengen von homogenen Elementen ohne definierter Anzahl zu verstehen. Bei Listen sind Duplikate erlaubt. Neben den Operationen wie beim `Set-Typkonstruktor` sind noch Operationen wie das Einfügen an verschiedenen Stellen (`insert`) und das Aneinanderhängen (`append`) von Listen möglich. Die einzelnen Elemente der Liste werden mit Hilfe eines Iterators durchlaufen. Mit dem `List-Typkonstruktor` kann z.B. ein Datentyp festgelegt werden, mit dem mehrere Ärzte einer Arztpraxis festgelegt werden.

```
Ärztegemeinschaft: list(tuple(Vorname: string, Nachname: string))
```

Im Gegensatz zu Listen ist der `Array-Typkonstruktor` eine geordnete Menge von homogenen Elementen mit fest definierter Anzahl an Werten eines vorgegebenen Datentyps. Duplikate sind erlaubt und auf die einzelnen Elemente wird über einen Index zugegriffen. Für den `Array-Typkonstruktor` werden Operationen zum Erzeugen, Lesen und Schreiben eines Elements

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

an einer Indexstelle angeboten. So wäre es denkbar, dass jedem Arzt maximal 100 Patienten einer bestimmten Krankenkasse zustünden.

Patienten: `array [1...100] of string`

Neben den Typkonstruktoren werden auch Objektidentitäten (OIDs), die unveränderbar, also stabil, bleiben und nicht mehrfach vergeben werden, zum objektrelationalen Datenbankmodell hinzugefügt. Es können aber nur Tupel, die zu einem Objekttyp deklariert werden, mit einer OID identifiziert werden.

Im objektrelationalen Datenmodell wird das Konzept von Hierarchien und Vererbung übernommen. Es können nicht nur komplex strukturierte Typen von einem Obertyp erben, sondern auch Relationen als Unterrelation einer Oberrelation definiert werden. Bei der Abbildung der Spezialisierungshierarchie unterscheidet man zwischen intensionaler und extensionaler Hierarchie. Intensionale Hierarchie meint die Typhierarchie auf Objekttypen, wohingegen die extensionale Hierarchie auf Objekttabellen definiert ist und der IsA-Beziehung des ER-Modells entspricht.

Schließlich wird im objektrelationalen Datenmodell auch der Verwendung von großen Objekten Rechnung getragen. So können mittels BLOB (Binary Large Objects) Binärdaten, wie die Bitfolge von Audio- oder Videodateien, und mittels CLOB (Character Large Objects) lange Texte gespeichert werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass objektrelationale Datenbanksysteme die Vorteile von objektorientierten Datenbanksystemen bezüglich der Speicherung komplexer Objekte sowie die Vorteile von relationalen Datenbanksystemen hinsichtlich der Reife und Einfachheit der Anfragesprache SQL vereinen [42], [41], [53], [52].

#### 3.2.7. NoSQL

Der Begriff NoSQL wurde das erste Mal von Carlo Strozzi (IBM) im Jahre 1998 verwendet und meint „no SQL“, also kein SQL. Carlo Strozzi entwickelte zu diesem Zeitpunkt eine leichtgewichtige Open-Source Datenbank, die bewusst auf die Verwendung vom bis dahin alles dominierenden SQL Standard verzichtet. Erst seit 2009 ist NoSQL vielmehr als „not only SQL“, also nicht nur SQL, zu verstehen. Damit werden nicht-relationale Datenbanksysteme gemeint, die auf verteilten Systemen liegen und nicht zwingend die aus dem Relationenmodell bekannten ACID-Eigenschaften unterstützen. Die Innovationen von NoSQL-Datenbanksystemen entstammen dabei überwiegend praktischer Entwicklungen und nicht datenbanktheoretischer Überlegungen.

Vor allem die Entwicklungen seit dem Aufkommen des sogenannten Web 2.0 im Jahr 2000 erforderten viele neue Anforderungen an die bestehenden Datenbanksysteme. Diese Anforderungen konnten aber mit den bestehenden Datenmodellen nicht oder nur teilweise

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

erfüllt werden. Darunter zählen die Verarbeitung von großen bis sehr großen Datenmengen im Petabyte-Bereich und mehr, gute Skalierbarkeit und verbesserte Performance bei gleichzeitig erhöhter Datenlast, Konsistenzabweichungen sowie die Verwendung eines einfachen Schemas. Mit Hilfe von NoSQL-Datenbanksystemen sollen diese Forderungen erfüllt werden. Ihnen sind einige Eigenschaften gemein; so wird meist auf das aus relationalen Systemen verwendete starre Datenbankschema zugunsten flexiblerer Techniken verzichtet. Außerdem werden andere Protokolle zur Kommunikation mit der Anwendungssoftware als SQL verwendet. Für viele NoSQL-Datenbanksystemen ist die Skalierbarkeit ein wichtiges Anliegen. Damit können große Datenbestände in vielen Standardsystemen statt einem einzigen riesigen Speichermedium verwaltet werden. Um der Forderung der besseren Skalierbarkeit und damit auch Datenverfügbarkeit nachzugehen, werden die starren Konsistenzregeln aufgeweicht. Es wird eine sogenannte „lose Konsistenz“ akzeptiert. Dies beschreiben die BASE-Eigenschaften (Basically Available, Soft State und Eventual Consistent). Dies meint, dass auch inkonsistente Zustände zugelassen werden. Werden durch Datenbankoperationen Duplikate erzeugt, so dient eine zeitversetzte Synchronisierung dazu, die Datenbank in einen konsistenten Teilzustand zu versetzen. Dabei ist unter *Eventual Consistent* zu verstehen, dass Clients nur in einem bestimmten Zeitraum einen konsistenten Datenbestand sehen.

Bei all diesen Überlegungen ist es wichtig, das sogenannte CAP-Theorem (Consistency, Availability, Partition Tolerance) zu erfüllen. Unter der Konsistenz ist das Anzeigen derselben Daten zum selben Zeitpunkt für alle Clients zu verstehen. Durch die Verfügbarkeit wird sicher gestellt, dass beim Ausfall eines Clients die restlichen Clients nicht am Weiterarbeiten gehindert werden. Schließlich fordert die Partitionstoleranz das fehlerfreie Weiterarbeiten trotz zufälliger Verluste von Nachrichten. Es können aber nicht alle drei Forderungen gleichzeitig erfüllt werden, sondern maximal zwei. Dies bedeutet, dass bei Teilung eines Netzwerkes ein Teil abgeschaltet werden kann, wodurch die Konsistenz erhalten bleibt, oder aber die Konsistenz aufgegeben wird, wodurch der Datenbestand verfügbar bleibt.

Die einzelnen NoSQL-Ausprägungen können in vier Hauptkategorien aufgeteilt werden: Key-Value-Datenbanken, dokumenten-, spalten- und graphenorientierte Datenbanken. Diese werden nach der Art der Datenspeicherung unterschieden und im folgenden näher erläutert.

#### **Key-Value-Datenbanken**

Key-Value-Datenbanken sind sehr einfach aufgebaut und eignen sich besonders dafür, Daten auf vielen verschiedenen Servern zu verteilen. Definierte Schlüssel verweisen auf einen bestimmten Wert, der eine strukturierte oder willkürliche Zeichenkette sein kann. Der Zugriff auf diesen Wert erfolgt über einen eindeutigen Schlüssel. Key-Value-Datenbanken werden nach der Art der Speicherung in zwei Gruppen, In-Memory und On-Disk, unterteilt. Bei In-Memory-Systemen bleiben die Daten im Speicher, was für eine hohe Performanz sorgt. Dies ist aufgrund der Speicherresistenz vor allem für Cache-Speichersysteme vorteilhaft. Bei On-Disk-Systemen hingegen werden die Daten direkt auf der Festplatte gespeichert, weswegen sie bspw. für große Datenmengen als Datenspeicher genutzt werden.

Key-Value-Datenbanken besitzen eine sehr gute Skalierbarkeit und bieten eine schnelle und effiziente Datenverwaltung für große Datenmengen an. Durch das einfache Schema können

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

aber nur einfache und nicht komplexe Abfragen realisiert werden.

#### Dokumentenorientierte Datenbanken

In dokumentenorientierten Datenbanken werden beliebig große Textdaten in unstrukturierter Form gespeichert. Sie besitzen kein Schema, was meint, dass es keine Vorschrift bezüglich der Typen für ein Dokument gibt. Aus diesem Grund müssen Dokumente nicht die gleichen Felder enthalten. Die Datenbankabfrage „Vorname“ = „Thomas“ würde nur Dokumente zurückgeben, die das Feld „Vorname“ mit dem Inhalt „Thomas“ enthielten. Ein Beispieldokument könnte folgendermaßen aussehen:

```
„Vorname“: „Thomas“  
„Nachname“: „Spittler“  
„Interessen“: [„Musik“, „Fußball“, „Geschichte“]
```

Zwischen den einzelnen Dokumenten gibt es keine Beziehungen. Dokumentenorientierte Datenbanken eignen sich besonders für das Speichern von unstrukturierten Daten, wie bspw. Formular-Daten. Aufgrund fehlender Abfragesprachen, wie SQL, ist aber mehr Aufwand erforderlich.

#### Spaltenorientierte Datenbanken

Anders als bei herkömmlichen relationalen Datenbanken, bei denen jede Zeile einen Datensatz mit verschiedenen Feldern repräsentiert, speichern spaltenorientierte Datenbanksysteme die Informationen als Schlüssel-Wert-Relation spaltenweise ab. Ziel ist es, Ein- und Ausgabe-Aktivitäten bei der Berechnung der Datensätze zu verringern. Betrachtet man Tabelle 3.1 so ist der Unterschied zwischen zeilen- und spaltenorientierten Datenbanksystemen folgendermaßen zu erklären:

ID	Vorname	Nachname
1	Thomas	Spittler
2	Hermann	Schönleben
3	Vera	Merg
4	Josef	Berger

**Tab. 3.1.:** Beispieltabelle für die Unterscheidung von zeilen- und spaltenorientierten Datenbanksystemen

Ein zeilenorientiertes System legt den Inhalt als

1, Thomas, Spittler; 2, Hermann, Schönleben; 3, Vera, Merg; 4, Josef, Berger;

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

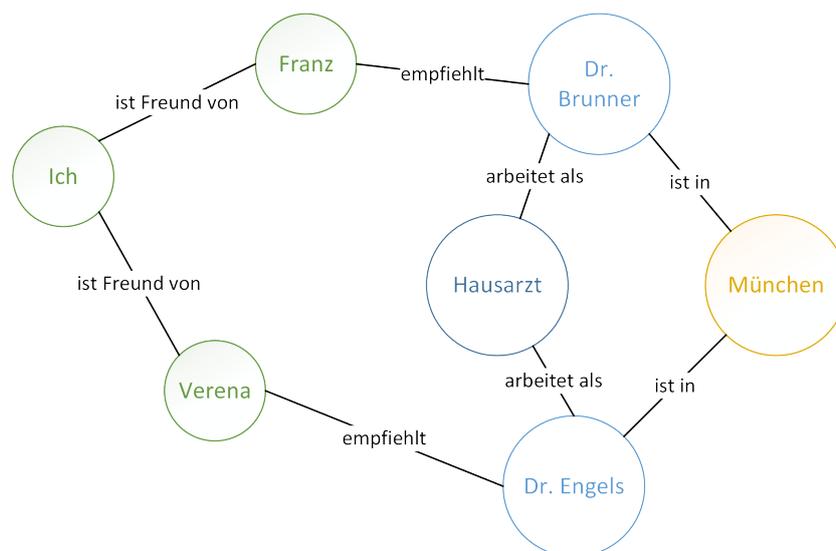
ab, wohingegen ein spaltenorientiertes System den Inhalt derart

1,2,3,4;Thomas,Hermann,Vera,Josef;Spittler,Schönleben,Merg,Berger;

abspeichern würde. Dadurch können wesentlich höhere Abfragegeschwindigkeiten bei großen Datensätzen erreicht werden. Beim gleichzeitigen Aufruf vieler Spalten verringert sich jedoch die Schreibgeschwindigkeit. Diese Systeme finden vor allem in Data-Mining- und Analyseprogrammen Verwendung.

#### Graphenorientierte Datenbanken

Für relationale Datenbanken ist die Darstellung von Beziehungen der Daten zueinander, wie beispielsweise die Freundesstruktur in einem sozialen Netzwerk, eine sehr arbeitsaufwendiger Prozess, da dies mitunter mehrere Abfragen erfordert. Daher beheben graphenorientierten Datenbanken diese Schwachstelle und geben die Beziehungen der Daten zueinander wieder. Der Aufbau ähnelt einer Baumstruktur mit Knoten und Kanten, wobei Knoten als Tupel und Kanten als Beziehungen zwischen den Knoten verstanden werden. Abbildung 3.11 zeigt den zugrundeliegenden Graph auf die Abfrage, die Hausärzte in München, die meine Freunde empfehlen, aufzulisten.



**Abb. 3.11.:** Veranschaulichung einer graphenorientierten Datenbank, angelehnt an [54]

Durch diese Art der Datenverwaltung können vernetzte Informationen mit einer besseren Performance gespeichert und verarbeitet werden. Auf der anderen Seite existiert jedoch noch keine einfach verständliche Abfragesprache wie SQL.

Abschließend werden nach [55] mögliche Vertreter verschiedener NoSQL-Datenbanken aufgelistet und deren Funktionen, Vor- und Nachteile sowie Einsatzgebiete in Tabelle 3.2 dargestellt [55], [56], [57], [58].

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

	CouchDB	MongoDB	Redis	Cassandra	Riak	HBase
Programmiert in	Erlang	C++	C/C++	Java	Erlang & C	Java
Lizenz	Apache	AGPL / Apache	BSD	Apache	Apache	Apache
Hauptvorteil	DB-Konsistenz & einfache Benutzung	Verwendet Abfragen und Indizierung auf SQL-Basis	Geschwindigkeit	Große Tabellen	Fehlertoleranz	Riesige Tabellenstrukturen
Protokoll	HTTP / REST	proprietär	Ähnlich Telnet	Proprietär und Thrift	HTTP / REST	HTTP / REST und Thrift
Art	Dokumentorientiert	Dokumentorientiert	In-Memory	spaltenorientiert	spaltenorientiert	Key-Valueorientiert
Besonderheiten	bidirektionale Replikation	Master-Slave-Replikation	Master-Slave-Replikation	Trade-offs für Verteilung und Replikation	Trade-offs für Verteilung und Replikation	Entworfen wie <i>Google BigTable</i>
	Konflikterkennung	Abfragen sind	Einfache Schlüsselwerte	Trade-offs anpassbar	Trade-offs anpassbar	Vordefinierte Abfragen
	MVCC blockieren keine Lesezugriffe	JavaScript-Ausdrücke	Komplexe Datenoperationen		Datenüberprüfung	Optimierung von Echtzeitabfragen
	Versionierung der Daten	Serverseitiges JavaScript	Verwendet Sets, Lists und Hashes	Abfrage nach Spalten	Datensicherheit	Performerter Thrift-Gateway
	serverseitige Validierung der Dokumente		Unterstützt Transaktionen			
	Authentifizierung	Verteilte Daten (Sharding)	Ablaufdatum für Daten	Abfrage nach Indexbereichen	Volltextsuche	XML mit HTTP-Unterstützung
	Echtzeit-Updates		Sortierte Sets			

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

	CouchDB	MongoDB	Redis	Cassandra	Riak	HBase
	Attachment Verwaltung JQuery-Bibliothek	Teilweise Ablage der Daten im Speicher	Überwachen von Datenänderungen	Schreibt schneller als es liest	Commits	Wahlfreier Zugriff auf Daten
Nachteile	Wiederholte Komprimierung notwendig	Nach einem Crash müssen die Tabellen repariert werden	Erst Version 2.0 Kann auf die Disk auslagern Datenbankgröße sollte vorhersehbar sein	Schreibt schneller als es liest Übernimmt Komplexität von Java	Enterprise und Open-Source-Version Verteilte Daten nur mit der Enterprise-Version	Performance des wahlfreien Zugriffs ähnlich SQL
Einsatzgebiete	CRM	Dynamische Abfragen	Häufige Schreibzugriffe	Echtzeit-Datenanalyse	Hochverfügbarkeit	Große Tabellen mit Milliarden Datensätzen und Millionen von Datenfeldern
	Wenig Schreibzugriffe	Indizierung der Daten	Schnelle Änderung der Daten	Alle Systembestandteile in Java sein sollen	Schnelle Schreibzugriffe	
	Häufige Lesezugriffe	Große DB mit Performance	Echtzeitverarbeitung		Seltene Lesezugriffe	Echtzeitzugriff auf die Daten
	Versionierung	Ähnlich SQL ohne definierte Spalten	Statistiken	Logging	Datenanalyse	Wahlfreier Datenzugriff

Tab. 3.2.: Überblick über verschiedene NoSQL-Datenbanken aus [55]

### 3.3. Bewertung der verschiedenen Datenmodelle für die Telemedizin

Nachdem im vorangehenden Kapitel 3.2 die unterschiedlichen Datenbankmodelle aufgelistet und deren Vor- und Nachteile angesprochen wurden, soll in diesem Kapitel ein Vergleich

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

zwischen den einzelnen Modellen angestrebt werden. Dabei orientieren sich die Bewertungskriterien nach den Vorgaben eines telemedizinischen Assistenzsystems.

Es gilt also zunächst zu hinterfragen, welche Daten in einem telemedizinischen Assistenzsystem anfallen werden und welche Rahmenbedingungen unbedingt erfüllt sein sollen. Neben organisations- und personenbezogenen Daten müssen Messwerte, evtl. Bilder und Videos sowie diverse Textelemente, wie Nachrichten, Umfragen, etc. gespeichert werden. Außerdem werden eine große Zuverlässigkeit und ein guter Datenschutz gefordert.

Aus dieser relativ kurzen Anforderungsliste ergeben sich die in nachfolgender Tabelle 3.3 aufgezeigten Kriterien, die betrachtet werden.

Kriterium	Relationale Datenbanken	Objektorientierte Datenbanken	Objektrelationale Datenbanken	No-SQL Datenbanken
Hauptzweck	Gewährleistung der Datenunabhängigkeit vom Anwendungsprogramm	Datenverkapselung und Unabhängigkeit	Nutzung der Vorteile vom relationalen und objektorientierten Datenbanken	Optimierung für sehr häufige Schreib- und Leseanfragen
Datentyp	einfach, atomar	komplex	einfach und komplex	einfach
Hierarchien	Modellierung aufwendig	Typhierarchien durch Vererbung	Typ- und Relationenhierarchien	Je nach Ausprägung umsetzbar
Datenzugriff	Anfragesprache	Einzelne Objekte	Anfragesprache	einfache Anfrage-API, vereinzelt Anfragesprache
Datensicherheit	Große Datenunabhängigkeit durch Drei-Schichten-Modell	Typänderungen wegen Objektgebundenheit risikoreich	Abhängig vom verwendeten Datentyp	Abgeschwächte ACID-Bedingungen, aber redundante Speicherung
Anbindung an objektorientierte Programmiersprachen	Impedance Mismatch	Guter Datenaustausch	Guter Datenaustausch	Möglich
Komplexität	gering	hoch	hoch	gering

**Tab. 3.3.:** Gegenüberstellung der vier gängigen Datenbank-Modelle

Für ein telemedizinisches Assistenzsystem ist auf mittelfristige Sicht nicht davon auszugehen, dass sehr viele, gleichzeitige Schreib- und Leseanfragen an die Datenbank gestellt werden. Aus diesem Grund ist ein NoSQL-Datenbankmodell nicht notwendig. Außerdem widerspricht die redundante Datenhaltung dem hohen Sicherheitsbedürfnis der Bevölkerung gegenüber den sensiblen, medizinischen Daten.

Viele Daten sind verwaltungstechnischer Natur und bedürfen nicht zwingend der Darstellung

### 3. Datenbanken in der Telemedizin und deren Vergleich

als Objekte, obschon dies auch einige wenige Vorteile mit sich brächte. Die damit verbundene erhöhte Komplexität trägt nicht gerade zur einfachen Implementierung und Wartung bei. Daher ist auch das objektorientierte Datenbankmodell nicht zielführend.

Wie bereits angedeutet, hat die Darstellung der Inhalte eines telemedizinischen Assistenzsystems als Objekte auch seine Vorzüge. So könnte die Organisationsstruktur, also z.B. die Arztpraxis mit den Angestellten und Patienten, als Klasse dargestellt werden. Jedoch würde dies die zusätzliche Komplexität nicht rechtfertigen. Des Weiteren ist das Speichern von Videos und Bildern in allen genannten Modellen gut möglich. Somit ist die Verwendung einer Objektrelationalen Datenbank nicht notwendig.

Für moderne telemedizinische Assistenzsysteme sollen auch die Möglichkeiten des „Semantischen Web“ ausgeschöpft werden. Die Idee des Semantischen Web basiert einerseits darauf, das Web mehr zu vergemeinschaften, und andererseits das Web für Maschinen verständlich und somit verarbeitbar zu machen [59]. Eine mögliche Anwendung stellt die Auswertung von Publikationen dar. Damit kann auf Basis der auftretenden Symptome auf Krankheiten geschlossen oder Nebenwirkungen von Medikamenten und Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten können dargestellt werden. Wie so etwas aussehen könnte, zeigt das vom Horten-Zentrum für praxisorientierte Forschung und Wissenstransfer betriebene Portal „evimed“. Das Zentrum hat „die Fachkompetenz zur Bewertung klinisch-medizinischer Informationen aus wissenschaftlichen Studien. Auf dieser Basis bietet es aufbereitete, praxisorientierte Informationen an und sorgt damit für einen Wissenstransfer in die Praxis“ [60].

Zur Verwirklichung des semantischen Web sind Graphenorientierte Datenbanken die erste Wahl. Diese Datenbanken sind vor allem für die Darstellung von Beziehungen der Daten zueinander konzipiert. Jedoch ist es auch möglich, dies mit relationalen Datenbanken zu verwirklichen. Dies mindert aber die Performance bei Datenabfragen.

Fasst man die Ergebnisse dieser Analyse zusammen, so eignet sich für das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> nach derzeitigem Stand und den oben genannten Kriterien das bewährte relationale Modell sehr gut. Hauptausschlaggebend sind hierbei die Einfachheit, die Ausgereiftheit sowie die Datenunabhängigkeit und Datensicherheit.

## 4. Datenanalyse

Durch ein telemedizinisches Assistenzsystem werden eine Vielzahl an Daten erhoben. Um damit einen Mehrwert sowohl für den Patienten als auch für den Arzt zu generieren, bedarf es einer entsprechenden Datenanalyse. Unter einer Datenanalyse versteht man „statistische Methoden, mit welchen aus vorliegenden Einzeldaten zusammenfassende Informationen (Kenngrößen) gewonnen und tabellarisch oder grafisch dokumentiert werden“ [61].

Dabei wird zwischen verschiedenen Arten der Datenanalyse unterschieden. Die *deskriptive Datenanalyse* erfordert das Herausstellen des Wesentlichen aus den in den Einzeldaten enthaltenen Informationen mittels Tabellen, graphischer Darstellung und charakteristischer Maßzahlen. Die deskriptive Datenanalyse ist ausschließlich beschreibender Natur. Dem gegenüber steht die *inferenzielle Datenanalyse*, bei der mit Hilfe von statistischen Modellen auf Grundlage einer Stichprobe auf die Eigenschaften der Grundgesamtheit geschlossen wird. Zu den statistischen Modellen zählen die Punktaberschätzung, die Intervallschätzung oder Hypothesenprüfung. Als *explorative Datenanalyse* wird das Auffinden von Strukturen oder einfachen, neuen Zusammenhängen aufgrund der gesammelten Datenmenge verstanden. Die *konfirmatorische Datenanalyse* hingegen beschäftigt sich mit dem Überprüfen von Zusammenhängen, wie bspw. die Regressionsanalyse. Schließlich kann noch zwischen *univariater*, *bivariater* und *multivariater* Datenanalyse differenziert werden, abhängig davon, ob das zu untersuchende Merkmal ein-, zwei- oder mehrdimensional ist [61].

Ziel dieser Arbeit ist es nicht, eine neue Datenanalyse-Software zu entwerfen. Vielmehr sollen ein paar Methoden der Datenanalyse herausgegriffen werden, womit eine Grundlage für die Kernaufgabe der vorliegenden Arbeit, das automatische Erzeugen eines Feedbacks für den Patienten, geschaffen werden kann. Außerdem sollen für den Arzt zur Unterstützung der Behandlung sowohl die gemessenen Werte als auch das Verhalten und der Gesundheitszustand des zu behandelnden Patienten analytisch aufbereitet dargestellt werden.

In den nachfolgenden Kapitel werden die Methoden der deskriptiven Datenanalyse, der Zeitreihenanalyse, des Data Mining Verfahrens sowie des Online Analytical Processing (OLAP) näher untersucht und exemplarisch dargestellt.

### 4.1. Zeitreihenanalyse

Die Erfassung von Zeitreihen und deren analytische Auswertung ist ein wichtiges Instrumentarium, um Beobachtungswerte zu analysieren und Vorhersagen künftiger Entwicklungen treffen

## 4. Datenanalyse

zu können. Als Zeitreihe werden zeitlich geordnete Beobachtungswerte des jeweils gleichen Sachverhaltes verstanden [62]. Dabei können die Beobachtungen in gleichen Zeitabständen, also äquidistant, oder stetig erfasst vorliegen. Zeitreihen, die bspw. im Rahmen eines telemedizinischen Assistenzsystems erhoben werden, können zudem Lücken bzw. Beobachtungen mit ungleichen Zeitabständen aufweisen. Die Analyse solcher Zeitreihen wird als Zeitreihenanalyse bezeichnet und zählt zur statistischen Längsschnittanalyse. Als eine der Hauptaufgaben werden die Untersuchung von Zeitreihen-Bewegungen, also die Veränderung der Beobachtungswerte im Zeitablauf, und entsprechender Gesetzmäßigkeiten angesehen [63].

Die Zeitreihenanalyse ist ein breit gefächertes Gebiet, für das vielerlei Methoden zur Beschreibung und Analyse von linearen und nichtlinearen Zeitreihen zur Verfügung stehen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Zeitreihen als Basis für Rückmeldungen für den Anwender zu nutzen. Dazu wird die qualitative Entwicklung einzelner, aber auch zweier oder mehrerer Zeitreihen benötigt. Als Zeitreihen sind neben Messwerten, wie Blutdruck, Bewegung oder Gewicht, auch über Fragebögen erhobene Befindlichkeiten, wie die Erfassung von Beschwerden mit Hilfe des ICD-10 Symptom Rating Tests (ISR), anzusehen.

Im Folgenden werden daher nur klassische Methoden zur Analyse univariater linearer Zeitreihen vorgestellt. Multivariate Analysemethoden sind nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Univariate Zeitreihen sind Zeitreihen, bei denen lediglich eine Variable betrachtet wird. Zu diesen Methoden zählen:

1. Methoden der Regression
2. Glättungsmethoden
3. Komponentenmodelle
4. Frequenzanalyse
5. Lineare Filter

Nicht alle diese Methoden finden in dieser Arbeit Anwendung. Es wird daher lediglich auf das Komponentenmodell sowie die Glättungsmethode eingegangen. Für alle anderen Methoden sei auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Das **Komponentenmodell** beruht auf der Annahme, dass sich eine Zeitreihe aus vier verschiedenen Komponenten zusammensetzt: Trend, Zyklus, Saison und Rest. Unter einem Trend versteht man eine Komponente einer Zeitreihe, „von der angenommen wird, dass sie längerfristig und nachhaltig wirkt“ [64]. Als eine Funktion der Zeit gibt der Trend die Richtung des Verlaufs einer Zeitreihe an. Es wird zwischen einem deterministischen und stochastischen Trend differenziert. Der deterministische Trend hat stationäre Abweichungen, d.h. die Zeitreihe schwankt um einen Trend, wohingegen die Abweichungen beim stochastischen Trend nicht stationär sind.

#### 4. Datenanalyse

Als Zyklus wird eine längerfristige zyklische Schwingung um den Trend verstanden. Dabei kann zwischen periodischen und nicht periodischen Zyklen unterschieden werden.

Die Saison ist ebenfalls eine zyklische Bewegung, wobei der Beobachtungszeitraum kürzer als beim Zyklus ist.

Als Rest werden schließlich alle unregelmäßigen oder zufälligen Bewegungen, die keinen der drei anderen Kategorien zuzuordnen sind, bezeichnet [63].

Des öfteren werden in der Literatur Trend und Zyklus zur sogenannten *glatten Komponente* und manchmal Zyklus und Saison zur *zyklischen Komponente* zusammengefasst. Der letztgenannten Nomenklatur werden wir uns im Folgenden anschließen, da die Unterteilung zwischen Zyklus und Saison meist wirtschaftswissenschaftlicher Natur ist.

Es ist nun von Interesse, jeden einzelnen Haupttyp zu berechnen und die einzelnen Eigenschaften zu beschreiben. Dabei können zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden: das additive und multiplikative Modell. Beim additiven Modell (Formel 4.1)

$$x_t = T_t + Z_t + R_t, \text{mitt} = 1, 2, \dots, n. \quad (4.1)$$

wird der Gesamtwert  $x_t$  als Summe der einzelnen Komponenten dargestellt. Dabei bezeichnen  $T_t$  den Trend,  $Z_t$  die zyklische Komponente und  $R_t$  die Residuen (Restkomponente) zum Zeitpunkt  $t$ . Dieses Modell wird verwendet, wenn bei einem steigenden oder fallenden Trend die übrigen Komponenten in etwa konstant bleiben. Ein Beispiel für eine solche Zeitreihe sind die monatlichen Daten der deutschen Arbeitslosenquote.

Trifft diese Annahme nicht mehr zu und nimmt die Streubreite mit wachsenden Werten der Zeitreihe zu, so wird das multiplikative Modell (Formel 4.2)

$$x_t = T_t * Z_t * R_t, \text{mitt} = 1, 2, \dots, n. \quad (4.2)$$

verwendet. Als Beispiel können hier die monatlichen Passagierzahlen einer Fluglinie angenommen werden [65].

**Glättungsverfahren** dienen dazu, kurzfristige Prognosen einer Zeitreihe bestimmen zu können. Dazu existieren verschiedene Verfahren, wie die Schätzung der glatten Komponente mit gleitenden Durchschnitten oder die exponentielle Glättung. Im späteren Verlauf dieser Arbeit (Kapitel 5.3.4.9) findet die exponentielle Glättung Anwendung, weswegen diese hier kurz vorgestellt wird.

Die exponentielle Glättung ist ein Prognoseverfahren, womit auf Basis vergangener Werte kurzfristige zukünftige Werte vorhergesagt werden können. Um dies zu erreichen, werden die Werte in der Vergangenheit mit einem Glättungsfaktor gewichtet, der exponentiell mit der Zeit abnimmt. Bei medizinischen Messwerten ist es wichtig, den Trend abschätzen zu können.

## 4. Datenanalyse

Dieser kann mit Hilfe der exponentiellen Glättung 2. Ordnung bestimmt werden. Gegeben sei eine Zeitreihe mit den Beobachtungswerten  $y_1, y_2, \dots, y_t$  zu den Zeitpunkten  $t$ . Für den Zeitpunkt  $t$  wird ein geglätteter Schätzwert  $\hat{y}_t$  berechnet, der sich als Summe des gewichteten aktuellen Zeitreihenwertes  $y_t$  und des geschätzten vergangenen Zeitreihenwertes  $\hat{y}_{t-1}$  ergibt. Dieses Ergebnis wird anschließend einer weiteren Glättung unterzogen, wodurch man den Schätzwert  $\hat{\hat{y}}_t$  erhält. Formel 4.3 gibt den Glättungswert 1. Ordnung und Formel 4.4 den Glättungswert 2. Ordnung wieder [66].

$$\hat{y}_t = \hat{y}_{t-1} + \alpha(y_t - \hat{y}_{t-1}) \quad (\text{Glättungswert 1. Ordnung}) \quad (4.3)$$

$$\hat{\hat{y}}_t = \hat{\hat{y}}_{t-1} + \alpha(\hat{y}_t - \hat{\hat{y}}_{t-1}) \quad (\text{Glättungswert 2. Ordnung}) \quad (4.4)$$

$$\text{mit } \hat{\hat{y}}_0 = \hat{y}_0 = y_0$$

## 4.2. Data Mining Verfahren

Die Nutzung moderner Datenbanksysteme ist in vielen Bereichen, wie Wirtschaft, Versicherungswesen, Wissenschaft oder Medizin erkennbar. Dadurch werden eine unvorstellbar große Zahl an Daten gesammelt, deren gänzlich Wissen für den Nutzer bei reiner Betrachtung nicht ersichtlich ist. Hierbei kann es sich um Informationen zum Kaufverhalten, zur Risikoabschätzung bei Versicherungen oder zur Unterstützung der Diagnostik handeln. Um diese potentiellen zusätzlichen Informationen aus den vorhandenen Daten herauszufiltern, bedarf es moderner Algorithmen. Mit dem Begriff *Data Mining* wird versucht, diese teilweise sehr unterschiedlichen Ansätze aus mehreren Fachdisziplinen zu umschreiben. So wird in [67] Eric Brethenoux von der Gartner Group wie folgt zitiert: „(Data Mining) ist ein Prozess des Entdeckens bedeutsamer neuer Zusammenhänge, Muster und Trends durch die Analyse großer Datensätze mittels Mustererkennung sowie statistischer und mathematischer Verfahren“. Etwas detaillierter wird der Begriff Datenmustererkennung in [68] (Seite 95), zitiert aus [69], beschrieben und anhand folgender Eigenschaften charakterisiert:

1. Gegenstand der Datenmustererkennung sind große, strukturierte Bestände numerischer, ordinal oder nominal skaliertes Daten, in denen interessante aber schwer aufzuspürende Zusammenhänge vermutet werden.
2. Das Forschungsziel der Datenmustererkennung sind allgemein verwendbare, effiziente Methoden, die autonom aus großen Datenmengen die bedeutsamsten und aussagekräftigsten Muster identifizieren und sie dem Anwender als interessantes Wissen präsentieren.

Data Mining ist demnach ein sehr weitreichender Begriff und bedient sich unterschiedlicher Disziplinen. Dazu zählen traditionelle Statistik und Datenanalyse, künstliche Intelligenz, traditionelle Mustererkennung, Datenbanktheorie und -praxis, Computerlinguistik und Computergaphik [68]. Durch die Nutzung dieser Disziplinen ist es mit Hilfe von Data Mining möglich,

## 4. Datenanalyse

automatisch Wissen aus Datenbeständen mit riesigen Datenmengen zu extrahieren. Dies erfolgt unter der Zielvorgabe, Regeln und Muster beziehungsweise statistische Auffälligkeiten zu entdecken.

Zu Beginn dieses Kapitels bedarf es einer Begriffsklärung; denn immer wieder werden *Data Mining* und *Knowledge Discovery in Databases (KDD)* gleichgesetzt, obschon sie eine unterschiedliche Bedeutung haben. Eine häufig zitierte Begriffserklärung für KDD entstammt aus [70] und kann wie folgt übersetzt werden:

Knowledge Discovery in Databases ist der nicht-triviale Prozess der Identifizierung gültiger, neuer, möglicherweise nützlicher und verständlicher Muster in Daten.

Es wird weiter ausgeführt, dass der KDD-Prozess in verschiedene Schritte unterteilt wird (vgl. dazu Kapitel 4.2.1). Ein Schritt darin wird als Data Mining bezeichnet. Dies ist der eigentliche Analyseschritt. Somit ist das Data Mining zwar nur ein Teilprozess des KDD-Prozesses, aber für das Ergebnis mitunter der relevanteste.

### 4.2.1. Das KDD-Prozessmodell

Ein KDD-Prozessmodell soll die Planung, Durchführung und das Controlling von KDD-Projekten vereinfachen oder verbessern. Derartige Prozessmodelle sind mannigfaltig und variieren nicht nur in der Anzahl der Phasen. Sie orientieren sich nahezu alle an das von Box [71] im Rahmen der Zeitreihenanalyse eingeführte Schema der Modellfindung [68]. In der Literatur wird öfters das CRISP-DM Prozessmodell erwähnt, wobei CRISP-DM für Cross Industry Standard Process for Data Mining steht und aus einem Konsortium der Firmen DaimlerChrysler, SPSS und NCR im Jahre 1997 hervorgegangen ist. In dieser Arbeit wird aber auf das ursprüngliche KDD-Prozessmodell aus [70] eingegangen. Dies ist ein iteratives und interaktives Modell, welches aus neun Phasen besteht und in Abbildung 4.1 dargestellt ist. Dabei ist der Prozess in jeder Phase iterativ, was meint, dass eine Rückkehr in eine vorhergehende Phase jederzeit möglich und erforderlich sein könnte. Ferner ist darauf zu achten, dass es sich hier um ein Modell handelt, das keine exakten Vorschriften für jede Situation bietet, sondern lediglich eine Vorgehensweise zur Findung neuer Muster der entsprechenden Anwendung anbieten kann.

Für eine detaillierte Erklärung der einzelnen Phasen sei auf die entsprechende Literatur wie [70], [68] und [72] verwiesen.

### 4.2.2. Einsatzszenario für Data Mining Verfahren für ein telemedizinisches Assistenzsystem

Im folgenden Kapitel sollen kurz mögliche Einsatzgebiete aufgezeigt werden, in denen Data Mining Verfahren in telemedizinischen Assistenzsystemen eingesetzt werden können. Dafür ist es von essentieller Bedeutung, das zu behandelnde medizinische Problem möglichst klar zu

## 4. Datenanalyse

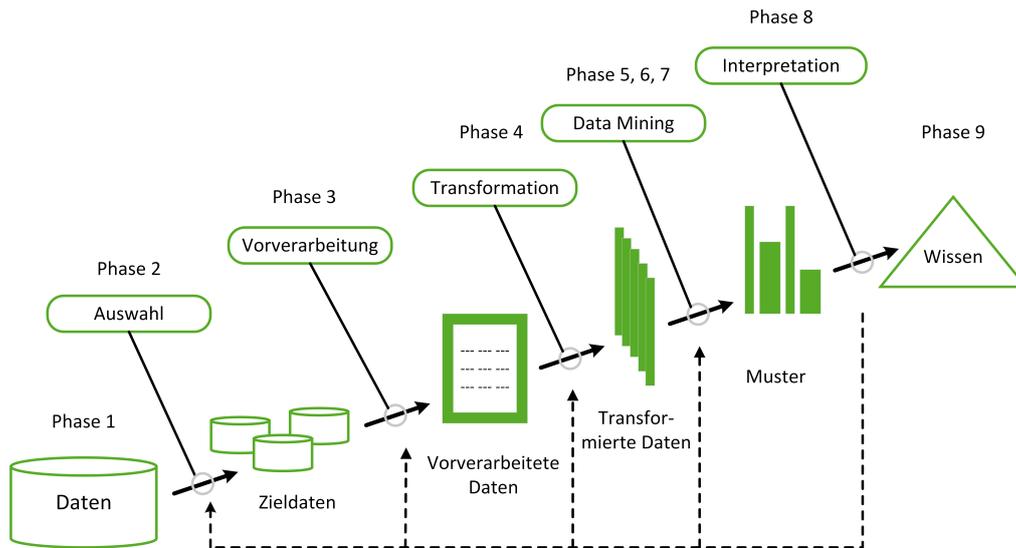


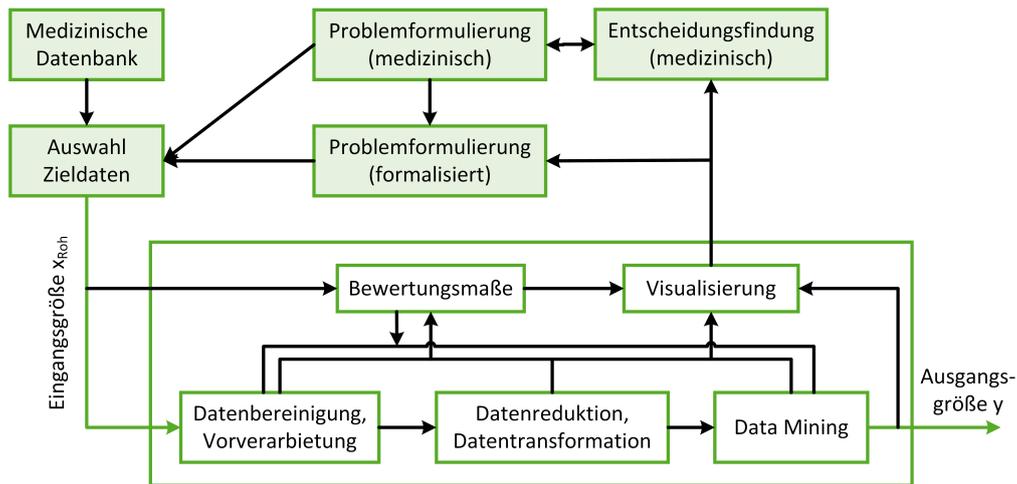
Abb. 4.1.: KDD Prozess nach Fayyad [70]

formulieren sowie das dazu geeignete Data Mining Verfahren auszuwählen und beide geschickt miteinander zu verknüpfen. Dabei gilt es, zwischen einem optimalen Data Mining Verfahren und der bestmöglichen medizinischen Verwertbarkeit abzuwägen.

Auf Grundlage des in Kapitel 4.2.1 aufgezeigten Prozesses des Knowledge Discovery in Databases nach Fayyad wird die Entwurfsphase des Data Mining Verfahrens in medizinischen Fragestellungen, angelehnt an [73] (Seite 74), vereinfacht in Abbildung 4.2 dargestellt. Diese typische Struktur von Signalflüssen zeigt einen iterativen Prozess mit den Rohdaten als Eingangsgröße  $x_{Roh}$ , der Datenbereinigung und Vorverarbeitung, der Datenreduktion und Datentransformation und dem eigentlichen Data Mining Verfahren sowie der Ausgangsgröße  $y$ . Die Zwischen- und Endergebnisse der Datenverarbeitungskette und des Data Mining beeinflussen die Bewertungsmaße, werden aber auch durch diese verändert, was eine modifizierte Ausgangsgröße bewirkt. Für die spätere Akzeptanz der Ergebnisse ist eine hohe Transparenz des Lösungsweges und eine verständliche Darstellung aller Zwischenergebnisse erforderlich. Dafür eignen sich neben aussagekräftigen Tabellen auch Histogramme, Boxplots, Scatterplots, Konfidenzintervalle u.v.m. Auf die Visualisierung wirken die Bewertungsmaße, die Datenverarbeitungskette, das Data Mining sowie die Ausgangsgröße ein. Diese beeinflusst ihrerseits die Entscheidungsfindung und Problemformulierung [73].

Bei der Verwendung dieses iterativen Vorgehens ist darauf zu achten, dass die gefundenen Verfahren und Bewertungsmaße nicht allein für den Lerndatensatz Gültigkeit besitzen. Ziel ist es ja, die gefundene Lösung auf ungelöste, strukturverwandte Aufgaben zu übertragen. Ein oft verwendetes Vorgehen ist dabei, bekannte Probleme mit einem Data Mining Verfahren zu lösen und anschließend mit der empirisch bekannten Lösung zu vergleichen [73].

#### 4. Datenanalyse



**Abb. 4.2.:** Vereinfachte Struktur der Signalflüsse in der Entwurfsphase eines medizinischen Data Mining-Verfahrens angelehnt an [73]

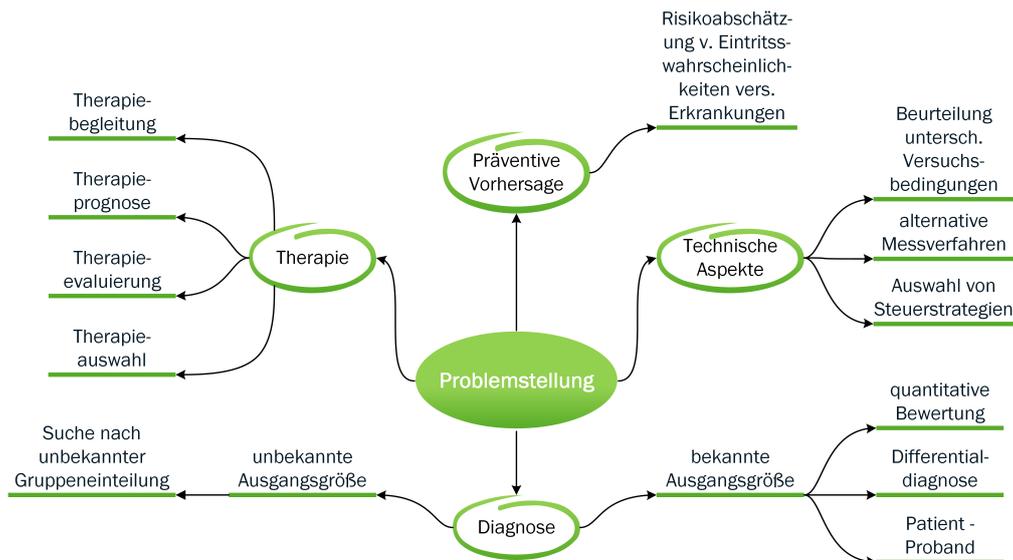
In der Anwendungsphase vereinfacht sich die in Abbildung 4.2 dargestellte Struktur. Die Problemformulierung ist abgeschlossen und die Zieldaten wurden ausgewählt. Bewertungsmaße und Visualisierung liefern lediglich weiterführende Informationen, ohne das Ergebnis zu beeinflussen. Die gefundenen und visuell aufbereiteten Ergebnisse sind Grundlage für die medizinische Entscheidungsfindung, wie Diagnose oder Therapieplanung. Diese Entscheidung trifft aber überwiegend nicht das System, sondern der Mediziner. Es gibt aber auch Medizinergäte, wie bspw. Prothesen, bei denen die Entscheidung auf Grundlage gründlicher ärztlicher Begutachtung automatisiert erfolgt. Nichtsdestotrotz ist zu beachten, dass die Verantwortung für alle Entscheidungen immer bei einem Mediziner liegt [73].

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels angesprochen, ist es von entscheidender Bedeutung, das medizinische Problem klar zu formulieren. Eine mögliche Hilfestellung leistet eine Art Baukastensystem. Eine Einteilung aus Sicht des Entwurfs von Data Mining Verfahren ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Diese erweitert die Einteilung aus [73], [74] und [75] und ist mit anschließender Beschreibung angelehnt an [73].

Eine Diagnose mit unbekannter Ausgangsgröße entspricht der Suche nach einer unbekanntem Patientengruppe. Dabei wird angenommen, dass das Patientenkollektiv strukturell heterogen ist. Mit Hilfe von Clustering Methoden, die dem unüberwachten Lernen zuzuschreiben sind, wird versucht, ähnliche Elemente in eine gut beschreibbare Gruppe zusammenzufügen. Das medizinische Interesse dieser Problembehandlung besteht darin, grundlegend unterschiedliche pathologische Mechanismen herauszukristallisieren und zu beschreiben und diese nicht zu vermischen.

Die Diagnose mit bekannter Ausgangsgröße, sprich bekannter Patientengruppe, ist eine in der Medizin weit verbreitete Problemstellung. Eine unbekannte Instanz - dies entspricht

## 4. Datenanalyse



**Abb. 4.3.:** Einteilung der Problemstellungen für Data Mining Verfahren angelehnt an [73]

allen zu einem Objekt zugehörigen Variablen - soll auf Grundlage eines Lerndatensatzes richtig klassifiziert werden. Dabei sind drei verschiedene Szenarien denkbar: die Unterscheidung zwischen einem Patienten und einem gesunden Probanden, eine Differentialdiagnose zur Unterscheidung mehrerer Krankheitsbilder bzw. Patientengruppen und die quantitative Patientenbewertung. Letzt genanntes verfolgt das Ziel, aus einem Zustand hoher Komplexität mit einer Vielzahl von Einflussgrößen eine zahlenmäßige Gesamtbewertung zu erhalten. Im medizinischen Sinne kann dieses Verfahren bspw. eingesetzt werden, um die Wirksamkeit einer Therapie durch den Vergleich prä- und posttherapeutischer Daten nachzuweisen oder verschiedenen Therapiemethoden gegeneinander zu vergleichen bzw. zu validieren.

Differentialdiagnosen sind „Erkrankungen mit ähnlicher bzw. nahezu identischer Symptomatik, die vom Arzt neben der eigentlichen Verdachtsdiagnose ebenfalls als mögliche Ursachen der Patientenbeschwerden in Betracht gezogen werden müssen“ [76]. Ähnlich wie bei der quantitativen Patientenbewertung ist hier für die Unterscheidung von Krankheitsbildern oder Patientengruppen ein skalares Abweichungsmaß gesucht. Dies ist ein höchst komplexes Vorgehen und erfordert vor allem beim Lerndatensatz hohe Ansprüche, welcher repräsentativ und aussagekräftig sein muss.

Bei der Patienten-Probanden-Diagnose besteht die Aufgabe darin, eine Person aufgrund unterschiedlicher Attribute einer „Krankheitsklasse“ zuzuordnen oder nicht. Auch wenn dies bei schweren Krankheitsbildern trivial erscheinen mag, so beinhaltet der Lösungsweg interessante Informationen, wie bspw. quantitative Schwellenwerte oder univariate Merkmalsbewertungen zur Entscheidungsfindung bei Klassifikationsproblemen. Dadurch können Patientengruppen zahlenmäßig beschrieben werden und somit neue Zusammenhänge entdeckt werden.

#### 4. Datenanalyse

Die Problemstellung der Therapie kann in die Begleitung, Auswahl, Evaluation und Prognose der Therapie unterteilt werden. Die Therapieprognose dient dazu, auf Grundlage des aktuellen Zustandes eines Patienten Aussagen über den möglichen Ausgang einer Therapie zu geben. Es soll also untersucht werden, ob am Ende die Therapie bei einem Patienten erfolgreich ist oder nicht. Ebenso ist die Aufspaltung in Teilerfolge, die Untersuchung von Misserfolgen oder die Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Therapien denkbar. Dazu werden die Daten nach einer Therapie mit den Daten vor einer Therapie verglichen und versucht, daraus ein Erfolgskriterium abzuleiten. Dieses Kriterium kann auf Basis subjektiver Einschätzung erfolgen oder durch quantitative Patientenbewertung.

Bei der Therapieevaluierung wird nicht nach dem Zustand am Ende einer Therapie, sondern nach Attributen oder Attributkombinationen mit signifikanten Veränderungen zwischen dem Zustand vor und nach einer Therapie gesucht. Das Augenmerk dieser Problemstellung ist vor allem auf kontrollierte Studien mit einer Kontrollgruppe zu richten. Es werden signifikante Unterschiede zwischen der Patientengruppe einer bestimmten Therapie und der Kontrollgruppe gesucht.

Die Therapieauswahl erfüllt den Zweck, aufgrund vorliegender Patientendaten eine individuelle Therapieempfehlung zu geben. Anders ausgedrückt soll für einen Patienten, über den nur entsprechende Attribute vor der Therapie vorliegen, eine Therapie vorgeschlagen werden, die für den Patienten mit großer Wahrscheinlichkeit am geeignetsten ist, da sie bei einer Vielzahl anderer Patienten mit ähnlicher Symptomatik erfolgreich war. Dafür ist es nötig, dass der Lerndatensatz neben den unterschiedlichsten Attributen auch das Attribut der verordneten Therapie eines erfahrenen Arztes enthält. Weiterhin ist darauf zu achten, dass im Lerndatensatz möglichst alle Informationen über die Therapieempfehlung, wie spezielle Tests zum Ausschluss anderer Krankheiten oder patientenindividuelle Einstellungen bei der Erhebung von Attributen, wie Einstellungen beim Belastungs-EKG, enthalten sind.

Die Therapiebegleitung dient dazu, den Patienten in seiner vom Arzt verordneten Therapie zu begleiten. Zur Aufrechterhaltung der Therapietreue, ist es entscheidend, den Patienten immer wieder zur Durchführung der Therapie zu motivieren. Dabei kann die Therapiebegleitung in zwei Aufgaben unterteilt werden: Dokumentation des Zielerreichungsgrades und dynamisierte Anpassung der Zielvorgaben. Zum einen ist es nötig, den Zielerreichungsgrad, also den Grad, wie gut das vom Therapeuten vorgegebene Ziel vom Patienten bisher erreicht wurde, festzustellen. Daraus abzuleiten ist die entsprechende Motivation. Die Auswahl der Motivation kann einerseits als klassisches Klassifikationsproblem verstanden werden. Der Lerndatensatz muss dann neben den unterschiedlichsten Attributen auch Attribute über die gegebene Motivation und deren Erfolg beinhalten. Dazu muss zuvor klassifiziert werden, wann eine Motivation als nicht, teilweise oder erfolgreich zu werten ist. Eine genauere Unterteilung ist möglich und vielleicht sogar sinnvoll, wie bspw. „der Patient übt die Therapie aufgrund der Motivation aus purem Pflichtbewusstsein, nicht aber aus Freude aus“. Andererseits wäre es denkbar, die Auswahl der Motivation durch das Entdecken von Assoziationsregeln zu treffen. Hierbei dient nicht ein Lerndatensatz als Basis der Entscheidungsfindung. Vielmehr liegt der Fokus auf generelle Häufigkeiten von Mengen und ihren Teilmengen. Im vorliegenden Fall be-

#### 4. Datenanalyse

deutet dies, dass jeder Patient eine Art „Motivationskorb“ erhält. Darin sind die Motivationen sowie deren Erfolg bspw. der letzten vier Wochen enthalten. In all den vorhandenen „Motivationskörben“ werden nun Assoziationsregeln gesucht. Eine dieser Regeln könnte lauten, dass in allen „Motivationskörben“, in denen Motivation A und Motivation B erfolgreich waren, häufig Motivation C erfolgreich war. Es ist noch zu erwähnen, dass solche Regeln nur interessant sind, wenn in genügend vielen „Motivationskörben“, in denen Motivation A und Motivation B erfolgreich waren, auch tatsächlich Motivation C erfolgreich war. Zum anderen ist es sinnvoll, die Zielvorgaben dynamisch anzupassen. Der Zweck der dynamischen Zielanpassung besteht darin, ein vom Therapeuten über einen längeren Zeitraum vorgegebenes Ziel dynamisch an das individuelle Leistungsvermögen und die individuelle Leistungsbereitschaft des Patienten anzupassen. Als Beispiel kann hier die Steigerung der täglichen Bewegung angeführt werden. Dies kann ebenfalls als Klassifikationsproblem aufgefasst werden. Im Lerndatensatz müssen dafür zusätzlich Attribute über die Steigerung und deren Auswirkung enthalten sein. Eine ausführlicher Beschreibung der Therapiebegleitung erfolgt in Kapitel 5.3.6 unter dem Stichwort Therapiebegleitung.

Bei der Betrachtung technischer Aspekte ist eine Differenzierung zwischen Auswahl von Steuerstrategien, Beurteilung unterschiedlicher Versuchsbedingungen sowie alternativer Messverfahren möglich. Alternative Messverfahren zielen darauf ab, etablierte Attribute durch andere Attribute zu ersetzen. Dies ist dann sinnvoll, wenn die bisherige Messung des Attributs belastend für den Patienten ist, ein subjektives Attribut durch ein objektives, messbares Attribut ersetzt werden kann oder die Erhebung des neuen Attributs wesentlich billiger bei etwa adäquater Aussagekraft ist.

Die Beurteilung unterschiedlicher Versuchsbedingungen dient zur Untersuchung der Auswirkungen unvermeidbarer Einflussgrößen auf Attribute und somit der nicht kontrollierbaren Beeinflussung der Ausgangsgröße. Als Beispiel können hier patientenindividuelle Einstellungen bei der Erhebung von Attributen angeführt werden. Mit dieser Methode können nicht ersichtliche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Attributen gesucht und gegebenenfalls Fehlerquellen, Störfaktoren oder Inkonsistenzen aufgedeckt werden. Das Problemfeld der Auswahl von Steuerstrategien betrifft die medizintechnischen Geräte, wie bspw. Geräte in der Intensivmedizin oder Prothesen. Hier wird ebenfalls, wie bei der Diagnose, eine Klassifikation oder Regression durchgeführt. Es ist aber diesbezüglich eine stärkere Risikoanalyse als bei den Diagnoseproblemen zu tätigen, da bei einer falschen Auswahl das Eingreifen eines Mediziners erschwert ist.

Schließlich ist das Problemfeld der präventiven Vorhersage mit einer Risikoabschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Erkrankungen verknüpft. Dies meint, dass bei bereits bekannter und statistisch erwiesener Prävalenz zweier oder mehrerer Erkrankungen das Risiko bestimmt wird, an dem anderen Leiden ebenfalls zu erkranken. Eine ausführlichere Beschreibung dazu findet sich in Kapitel 6.2.1.

Zusammenfassend sind die soeben vorgestellten Problembereiche, das entsprechende Vorgehen, eine Beispielanwendung sowie mögliche Data Mining Verfahren in Tabelle 4.1 dargestellt.

#### 4. Datenanalyse

	<b>Problem</b>	<b>Vorgehen</b>	<b>Beispiele</b>	<b>DataMining</b>
Diagnose	Suche nach unbekannter Gruppeneinteilung	Zusammenfügen ähnlicher Elemente in eine gut beschreibbare Gruppe	Beschreibung grundlegend unterschiedlicher pathologischer Mechanismen	F-C, C, uM
	Patient- Proband	Zuordnung zu einer Krankheitsklasse oder nicht	quantitative Schwellenwerte oder univariate Merkmalsbewertungen	uM, K, F-K
	Differentialdiagnose	Unterscheidung von Krankheitsbildern o. Patientengruppen anhand eines skalaren Abweichungsmaßes	Klassifikation verschiedener Krankheitsbilder oder Patientengruppe	uM, K, F-K
Therapie	Therapieprognose	Ableiten eines Erfolgskriteriums auf Basis von prä- und posttherapeutischer Daten	Aussage über den möglichen Ausgang einer Therapie auf Basis des aktuellen Zustandes des Patienten	R, K, F-K, uM, mM
	Therapieevaluierung	Suche nach Attributen mit mit signifikanten Veränderungen prä- und posttherapeutischen Zustand	kontrollierte Studien mit Kontrollgruppe	uM
	Therapieauswahl	Empfehlen einer individuellen Therapie auf Basis vorliegender Patientendaten	Erhalten individueller Therapieempfehlungen	uM, K, F-K
	Therapiebegleitung	Therapieanpassung anhand von veränderten Merkmalen	Bewegungstherapie wird an das Vermögen des Patienten angepasst	K, C
Techn. Aspekt	Beurteilung untersch. Versuchsbedingungen	Untersuchung der Auswirkungen unvermeidbarer Einflussgrößen auf Attribute	patientenindividuelle Einstellungen bei Erhebung von Attributen	K, F-K, uM
	alternative Messverfahren	Ersetzen von etablierten Attributen durch alternative Attribute	Belastung für Patient bei bisheriger Erhebung der Attribute, Ersetzen eines subjektiven durch ein objektives Attribut	R, uM, mM

	Auswahl von Steuerstrategien	Durchführung einer Klassifikation oder Regression	Steuerung medizintechnischer Geräte	uM, K, F-K
Präv. Vorhersage	Risikoabschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten vers. Erkrankungen	Risikobestimmung an anderem Leiden zu erkranken mithilfe eines Entscheidungsbaumes	Erkranken an depressiven Symptomen bei vorhandenem Diabetes Mellitus	K

**Tab. 4.1.:** Kurzbeschreibung ausgewählter medizinischer Problemstellungen für Data Mining Verfahren, Abkürzungen: Regression R, Klassifikation K, Fuzzy-Klassifikation F-K, Clustering C, Fuzzy-Clustering F-C, univariate uM und multivariate mM Merkmalsbewertung

### 4.2.3. Vorstellung einiger Data Mining Verfahren

Im vorangegangenen Kapitel werden einige der Möglichkeiten für den Einsatz von Data Mining Algorithmen in telemedizinischen Assistenzsystemen aufgezeigt. Dabei wird eine Unterteilung der Problemstellung in technische Aspekte, Diagnose und Therapie vorgenommen. Diese Arbeit befasst sich mit den Möglichkeiten und Grenzen der automatisch, vom System generierten Rückmeldung sowohl für den Patienten und deren Angehörige als auch für den Arzt. Im Fokus dieser Arbeit liegt somit die Problemstellung der Therapie und nicht der Diagnose oder von technischen Aspekten. Im Folgenden werden deshalb drei, für diese Aufgabe wichtige Data Mining Verfahren kurz erläutert: Regression, Klassifikation und Assoziationsregeln.

#### Regression

Mit Hilfe der Regression werden Parameter, die einen funktionalen Zusammenhang zwischen einzelnen Merkmalen aufweisen, geschätzt. Wird beispielsweise erkannt, dass ein bestimmtes Merkmal mit dem Erfolg einer Therapie korreliert, soll nun herausgefunden werden, wie dieses Merkmal verändert werden muss, um das vorgegebene Therapieziel zu erreichen. Demnach wird eine Regressionsfunktion gesucht, bei der der Fehler der Funktionsapproximation minimiert wird. Dabei wird zwischen linearer Regression, nichtlinearer Regression, die in eine lineare Regression überführt werden kann, und nichtlineare Regression mit universellen Annäherungsfunktionen unterschieden [77]. Im folgenden wird lediglich auf die lineare Regression eingegangen.

Die *lineare Regression* bestimmt einen linearen Zusammenhang zwischen den Merkmalen  $x^{(i)}$  und  $x^{(j)}$  mit

$$x_k^{(i)} \approx a + b(x_k^{(j)} - \bar{x}^{(j)}), i, j = 1, \dots, p. \tag{4.5}$$

## 4. Datenanalyse

Zur Bestimmung der Parameter  $a$  und  $b$  wird die quadratische Fehlerfunktion

$$E = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^{(i)} - a - b(x_k^{(j)} - \bar{x}^{(j)}))^2 \quad (4.6)$$

verwendet. Durch die Berechnung der Extrema von  $E$  können aus dem Mittelwertvektor und der Kovarianzmatrix des Datensatzes  $X$  direkt die Parameter der linearen Regressionsfunktion zwischen allen Merkmalen in  $X$  bestimmt werden.

Neben dem mittleren quadratischen Fehler 4.6 kann auch der Median des quadratischen Fehlers oder der getrimmte mittlere quadratische Fehler (least trimmed squares, LTS) verwendet werden [77].

Die lineare Regression zählt zu den Regressionsmodellen, bei denen die Regressionskoeffizienten linear vorliegen.

### Klassifikation

Die Klassifikation dient dazu, Objekte zu Klassen mit gemeinsamen Eigenschaften zu gruppieren. Auf der Basis des klassifizierten Datensatzes  $X$  wird demnach eine Funktion  $f: R^p \rightarrow 1, \dots, c$  gesucht, die zu einem gegebenen Merkmalsvektor  $x$  die gesuchte Klasse  $y$  liefern soll [77].

Die Klassifikationsverfahren laufen im Wesentlichen in zwei Schritten ab [77]:

1. Lernphase: Aus einer vorhandenen Datenbasis werden zufällig einige Objekte ausgewählt und zu einer Trainingsmenge zusammengestellt. Jedem dieser Trainingsobjekte wird als zusätzliches Attribut die Klassenzugehörigkeit zugetragen. Auf Basis dieser klassifizierten Trainingsdaten wird nun mit Hilfe eines Algorithmus ein Modell erstellt, womit anhand von Merkmalskombinationen die entsprechende Klasse angegeben werden kann.
2. Klassifikationsphase: Das erstellte Modell wird auf die zu klassifizierenden Objekte angewandt, wodurch diese einer Klasse zugeordnet werden.

Bei diesem Vorgehen kommt es nicht darauf an, den Trainingsdatensatz möglichst fehlerfrei abzubilden, sondern vielmehr neue, bisher unklassifizierte Objekte nur aus Kenntnis der entsprechenden Merkmalsvektoren  $x$  der richtigen, noch unbekanntem Klasse zuzuordnen [77].

Zur Klassifikation stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung: Bayes-Klassifikation, Entscheidungsbäume, neuronale Netze, k-nächste-Nachbarn, u.v.m., von denen nur die ersten zwei genannten näher beschrieben werden.

Der *naive Bayes-Klassifikator* basiert auf der Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten. Gegeben seien  $k$  Klassen  $C_1, C_2, \dots, C_k$  und ein zu klassifizierendes Objekt mit  $m$  Merkmalen  $x_1, x_2, \dots, x_m$  aus dem Merkmalsvektor  $X$ . Die Wahrscheinlichkeit, dass das Objekt mit dem

#### 4. Datenanalyse

gegebenen Merkmalsvektor  $X$  zur Klasse  $C_i$  gehört, wird als  $P(C_i|X)$  geschrieben. Ziel ist es nun, diejenige Klasse  $C_i$  zu suchen, für die diese Wahrscheinlichkeit am größten ist. Nach dem Satz von Bayes gilt Formel 4.7.

$$P(C_i|X) = \frac{P(X|C_i)P(C_i)}{P(X)} \quad (4.7)$$

der Nenner in Formel 4.7 ist bei der Berechnung für alle Klassen  $C_i$  konstant, so dass zur Bestimmung die Verwendung des Zählers  $P(X|C_i)P(C_i)$  genügt. Zur Vereinfachung der Berechnung werden die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens der Klasse  $P(C_i)$  aufgrund der Trainingsdaten geschätzt oder als gleichverteilt angenommen. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die Ausprägungen der Attribute unabhängig voneinander sind. Demnach ist  $P(X|C_i)$  das Produkt aus den bedingten Wahrscheinlichkeiten für die in  $X$  vorkommenden Ausprägungen  $x_j$  der einzelnen Attribute (vgl. Formel 4.8).

$$P(C_i|X) = \prod_{j=1}^m P(X_j|C_i) \quad (4.8)$$

Diese Einzelwahrscheinlichkeiten können ihrerseits anhand der relativen Häufigkeiten in den Trainingsdaten geschätzt werden. Bei kontinuierlichen Merkmalen erfolgt die Schätzung anhand einer angenommenen Verteilungsfunktion [78].

Der große Vorteil des naiven Bayes-Klassifikators ist die Effizienz, da die Trainingsdaten nur einmal durchlaufen und fehlende Einträge ignoriert werden können. Als Nachteil ist die Voraussetzung einer stochastischen Unabhängigkeit anzusehen. Diese ist in der realen Welt nicht immer gegeben.

Eines der gängigsten und verständlichsten Klassifikationsverfahren ist der **Entscheidungsbaum**. Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist, dass man ausgehend von der Wurzel die Attribute an den Knoten prüft und entsprechend der Ausprägung der jeweiligen Verzweigung folgt. Dies wird solange durchgeführt, bis man einen Blattknoten erreicht.

Entscheidungsbäume werden auf Basis von Trainingsdaten erstellt. Dabei wird in jedem Knoten mit einer informationstheoretischen Kennzahl entschieden, welches Attribut für die nächste Verzweigung verwendet werden soll. Für jede vorkommende Ausprägung dieses Attributs wird eine Verzweigung gebildet und der Algorithmus mit denjenigen Trainingsobjekten rekursiv weitergeführt, die diese Ausprägung besitzen. Sind an einer Verzweigung alle Trainingsobjekte der selben Klasse zuzuschreiben, wird ein Blattknoten mit diesem Klassennamen erstellt. Wenn bereits alle Attribute zum Test verwendet wurden, erfolgt die Erstellung mit der in der Teilmenge häufigsten Klasse [78].

Dieser Algorithmus ID4 dient als Grundlage vieler weiterer Algorithmen. Dabei werden unterschiedliche Verbesserungen, wie die Verwendung von kontinuierlichen Merkmalen oder die

Verringerung der Komplexität des Entscheidungsbaumes mit Hilfe des Pruning-Verfahrens durchgeführt.

Der Vorteil von Entscheidungsbäumen ist, dass sie sehr leicht in Wenn-Dann-Regeln konvertiert werden können. Als Nachteil kann angeführt werden, dass bei den meisten Verfahren die Trainingsdaten komplett im Hauptspeicher gehalten werden müssen [78].

### Assoziationsregeln

Mit Hilfe der Assoziationsanalyse werden Regeln gesucht, die Korrelationen zwischen gemeinsam auftretenden Merkmalen beschreiben. Assoziationsregeln konzentrieren sich auf Häufigkeiten von Mengen und ihren Teilmengen.

Gegeben sei die Menge  $M$  von Ereignissen. Eine Menge  $I = X \subseteq M$  mit  $|X| = i$  werde Ereigniskombination (itemset) genannt. Sei  $D$  eine Menge von Transaktionen  $t$  mit  $t \subseteq I$ . Jede Transaktion  $t$  besteht folglich aus einer Menge von Ereignissen aus  $I$ .  $D$  kann beispielsweise eine Datenbank sein, die alle Ereignisse speichert. Eine Assoziationsregel ist nun eine Implikation  $X \Rightarrow Y$  mit Prämisse  $X$  und Konklusion  $Y$ , wobei  $X$  und  $Y$  kein gemeinsames Element haben. Es muss also gelten:  $X \subseteq I, Y \subseteq I$  und  $X \cap Y = \emptyset$ . Die Assoziationsregel  $X \Rightarrow Y$  wird von einer Transaktion  $t$  erfüllt, wenn  $(X \cup Y) \subseteq t$  gilt [79], [80].

Die relative Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens aller Ereignisse wird als Support bezeichnet und, wie in Formel 4.9 gezeigt, definiert als

$$\text{support}(X \Rightarrow Y) = \frac{|t \in D | (X \cup Y) \subseteq t|}{|D|} \quad (4.9)$$

Der Support einer Regel kann auch als ein Maß für die Signifikanz einer Regel betrachtet werden, da sie angibt, wie oft diese in den Transaktionsdaten erfüllt ist.

Die Konfidenz einer Assoziationsregel  $X \Rightarrow Y$  gibt hingegen die Korrektheit der Regel an. Zur Bestimmung wird der Anteil der Transaktionen  $t$  aus  $D$ , welche die Menge  $Y$  enthalten, in der Teilmenge aller Transaktionen aus  $D$ , welche die Menge  $X$  enthalten, verwendet [79], [80]. Formal bedeutet dies (Formel 4.10):

$$\text{confidence}(X \Rightarrow Y) = \frac{\text{support}(X \Rightarrow Y)}{\text{support}(X)} = \frac{|\{t \in D | (X \cup Y) \subseteq t\}|}{|\{t \in D | X \subseteq t\}|} \quad (4.10)$$

Zur Verdeutlichung der Assoziationsanalyse wird folgendes Beispiel angefügt. Tabelle 4.2 zeigt ein Beispiel für eine Transaktionsdatenbank  $D$ .

Die Transaktionen der Datenbank  $D = T_1, \dots, T_8$  sind jeweils Teilmengen der Menge von Ereignissen  $M = a, b, c, d, e$ . Beispielsweise ist der Support der Assoziationsregel  $a, b \Rightarrow c$

$$\text{support}(a, b \Rightarrow c) = \frac{|T_1, T_2, T_3|}{D} = 37,5 \quad (4.11)$$

## 4. Datenanalyse

Transaktion	Ereigniskombination
$T_1$	$a, b, c, d$
$T_2$	$a, b, c, e$
$T_3$	$a, b, c$
$T_4$	$a, b, e$
$T_5$	$a, c, d, e$
$T_6$	$a, c, e$
$T_7$	$b, d, e$
$T_8$	$b, c, d$

Tab. 4.2.: Beispiel einer Transaktionsdatenbank zur Verdeutlichung der Assoziationsanalyse

### 4.3. Online Analytical Processing

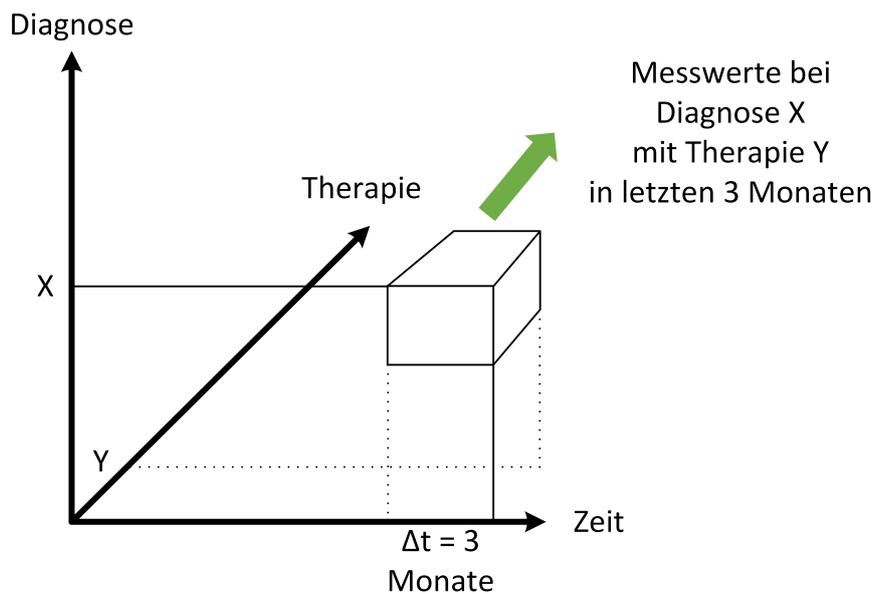
Das Online Analytical Processing (OLAP) ist ein Verfahren, mit dem sehr große Datenmengen eines Data Warehouses analytisch bearbeitet und dargestellt werden können. Dabei ermöglicht OLAP Einzel- und Trendanalysen und liefert somit schnell und einfach entscheidungsrelevante Informationen. Durch den Zugriff auf das aktuelle Datenmaterial wird eine möglichst realitätsnahe Darstellung des Ist-Zustandes erreicht [81].

Für den Anwender stehen verschiedenen OLAP-Werkzeuge zur Verfügung, womit die Daten grafisch oder tabellarisch aufbereitet werden. Diese dienen zur Präsentation und sind durch schnelle, interaktive Reaktionen gekennzeichnet. Datenanalysen, zeitliche Zusammenhänge, Darstellung von Abweichungen sowie Überschreitung von Toleranzgrenzen sind mögliche Nutzungen. Das bekannteste OLAP-Analysewerkzeug ist der multidimensionale OLAP-Würfel [81].

Ein OLAP-Würfel besteht aus Eigenschaften, sogenannten Dimensionen, und Kennzahlen, sogenannten Fakten. Die Anzahl der Dimensionen ist unbegrenzt und bilden die multidimensionale Struktur. Jede Dimension besteht aus Ausprägungen; das sind hierarchisch strukturierte distinkte Werte. Die Kombinationen von Ausprägungen aller Dimensionen bilden die Menge von Knotenpunkten im Würfel. Diese Knotenpunkte können ihrerseits mit Kennzahlen belegt werden. Eine anschließende Aggregation der Kennzahlen über verschiedene Hierarchiestufen der Dimensionen führt zu einer guten Analyse von Detaildaten und zur Erforschung unbekannter Zusammenhänge. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur für zahlenorientierte Auswertungen [82].

Der Einsatz von OLAP ist in betriebswirtschaftlichen Betrachtungen schon alltäglich. Doch öffnen sich mit diesem Verfahren auch neue Perspektiven für die Telemedizin. Abbildung 4.4 zeigt eine mögliche Darstellung des OLAP-Würfels für eine medizinische Betrachtung:

Als Dimensionen sind in Abbildung 4.4 die Diagnose, die Therapie sowie die Zeit aufgetragen. Es wird nun beispielsweise die Kennzahl Messwerte des Blutdrucks bei Diagnose X mit der Therapie Y innerhalb der letzten drei Monate betrachtet. Somit kann schnell überprüft



**Abb. 4.4.:** Darstellung eines OLAP-Würfels anhand der Achsen Diagnose, Therapie und Zeit

werden, wie die Entwicklung des Blutdruckes bei den unterschiedlichen Patienten bei gleicher Therapie innerhalb der letzten drei Monate verlaufen ist.

## 4.4. Auswahl statistischer Verfahren

Im Gegensatz zu den Naturwissenschaften, bei denen Zusammenhänge determiniert und somit genau berechenbar sind, muss man in den Biowissenschaften mit gewissen Unsicherheiten leben. Diese unterliegen nicht nur naturwissenschaftlichen Gesetzen, sondern auch dem Zufall. Deshalb können medizinisch-biologische Abläufe nicht exakt berechnet, sondern lediglich geschätzt werden.

Mag man auch eine Vielzahl an Faktoren kennen, die bestimmte Merkmale, wie beispielsweise die Körpergröße eines Menschen, beeinflussen oder Krankheiten verursachen bzw. begünstigen, so ist jeder Organismus einzigartig und dem Zufall unterworfen. Eine gesunde Ernährung, Verzicht auf Nikotin und Alkohol sowie ausreichende Bewegung sind beispielsweise kein Garant für ein langes Leben. Es kommt immer wieder vor, dass auch diese Menschen früh sterben oder andere, die entgegen jeder Vernunft äußerst ungesund leben, sehr alt werden.

Mit Hilfe der Statistik stehen Methoden zur Verfügung, womit allgemeingültige Aussagen hergeleitet werden können. Diese müssen zwar nicht immer für jede Person zutreffen, minimieren aber das Risiko einer Fehlentscheidung. Der Zufall wird somit quantifiziert und kontrollierbar gemacht [83].

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> dient unter anderem zur Therapiebegleitung von Arzt und Patient. Es ist daher unabdingbar, die Wirksamkeit einzelner automatisierter Methoden nachzuweisen. Im folgenden werden nach [83] die zwei häufigsten in der Medizin und Biologie verwendeten statistischen Verfahren vorgestellt, deren Voraussetzungen aufgezeigt und abschließend gegenübergestellt.

### 4.4.1. Durchführung eines statistischen Tests

Den hier vorzustellenden statistischen Tests ist gemein, dass vor der Testdurchführung sowohl die Nullhypothese  $H_0$ , die die bisherigen Erkenntnisse widerspiegelt, als auch die Alternativhypothese  $H_1$ , die eine neue, innovative Aussage beinhaltet, formuliert werden. Die Alternativhypothese kann zweiseitig sein. Dies meint, dass über die Richtung des Unterschieds keine Aussage getroffen wird. Ist hingegen aufgrund von Vorüberlegungen eine eindeutige Richtung abzuleiten, so wird die Alternativhypothese als einseitig bezeichnet. Die Nullhypothese ist immer eindeutig formuliert.

Die Testentscheidung ist von Prüfgrößen abhängig, die aus den vorliegenden Stichprobenwerten ermittelt werden. Es ist daher nicht auszuschließen, dass das Testverfahren im Einzelfall zu einer Fehlentscheidung führt. Ist in Wirklichkeit die Nullhypothese richtig und man entscheidet sich fälschlicherweise für die Alternativhypothese, so spricht man von einem  $\alpha$ -Fehler. Dieser Fehler ist zwar nicht vermeidbar, jedoch kontrollierbar, da er nur bei Gültigkeit der eindeutig formulierten Nullhypothese auftritt. Aufgrund der Symmetrie der t-Verteilung liegt die Wahrscheinlichkeit einer Fehlentscheidung für den Fall, dass die Nullhypothese wahr ist, bei maximal dem  $\alpha$ -Fehler von beispielsweise 5%. Anders ausgedrückt, liegt die Wahrscheinlichkeit, eine richtige Entscheidung zu treffen, bei 95%. Theoretisch sind verschiedene Werte von  $\alpha$ -Fehlern denkbar, jedoch hat sich in den Biowissenschaften ein Wert von 5% eingebürgert.

Andererseits kann es auch vorkommen, dass man sich fälschlicherweise für die Nullhypothese entscheidet, obwohl die Alternativhypothese richtig ist. In diesem Fall spricht man von einem  $\beta$ -Fehler. Dieser ist im Gegensatz zum  $\alpha$ -Fehler nur schwer abschätzbar, jedoch durch diesen beeinflussbar. Je größer  $\alpha$  gewählt wird, umso größer ist der kritische Bereich und umso kleiner ist  $\beta$ . Das bedeutet, dass ein kleiner  $\alpha$ -Fehler einerseits dazu führt, seltener eine Nullhypothese abzulehnen, und andererseits das Risiko erhöht, die Nullhypothese beizubehalten, obschon die Alternativhypothese richtig wäre.

Schließlich ist die Wahl des Stichprobenumfangs für alle Tests gleichermaßen bedeutend. Bei einem zu kleinem Stichprobenumfang wird nahezu immer die Nullhypothese beibehalten, wohingegen ein sehr (kosten- und arbeitsintensiver) großer Stichprobenumfang eher zur Bejahung der Alternativhypothese führt.

Nach der Durchführung eines Tests, gilt es zu beurteilen, ob das Testergebnis statistisch signifikant ist. Dies ist der Fall, wenn der sogenannte p-Wert, der sich aus der Testgröße

berechnen lässt, kleiner als 0,05 ist. Dabei gilt es zu beachten, dass der p-Wert keinerlei Informationen über die Größe des Unterschieds oder der Stärke des Zusammenhangs, über die Kausalität des nachgewiesenen Zusammenhangs, über die wissenschaftliche Bedeutung oder über die Ursachen, die zum Testergebnis geführt haben, liefert. Der p-Wert informiert lediglich über die statistische Signifikanz.

### 4.4.2. t-Test

Der t-Test ist einer der bekanntesten und beliebtesten Lagetests. Lagetests dienen zum Vergleich von Lagemaßen wie dem arithmetischen Mittel, Median oder Modus. Sie informieren darüber, in welchem Bereich sich die Stichprobenwerte konzentrieren. t-Tests eignen sich zum Vergleich von Mittelwerten. Man zählt sie zu den parametrischen Tests, da bei bekannter Verteilung der Zufallsvariablen nur noch bestimmte Parameter überprüft werden. Es wird zwischen t-Test für eine Stichprobe, für zwei verbundene Stichproben und für zwei unverbundenen Stichproben unterschieden.

Der *t-Test für eine Stichprobe* vergleicht den Mittelwert  $\bar{x}$  einer Stichprobe mit einem vorgegebenem Wert  $\mu_0$ . Voraussetzung dafür ist, dass die einzelnen Stichprobenwerte  $x_i$  Realisationen einer normalverteilten Zufallsvariable  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  sind. Die Berechnung der Prüfgröße  $t$  erfolgt nach Formel 4.12:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}. \quad (4.12)$$

Mit diesem Test kann zum Beispiel überprüft werden, ob eine Risikoschwangerschaft Auswirkungen auf das Geburtsgewicht der Neugeborenen hat.

Der *t-Test für zwei verbundene Stichproben* ist ein Lagetest zum Vergleich der Erwartungswerte zweier verbundener Stichproben. Es werden zwei verbundene Stichproben des Umfangs  $n$  mit den Wertepaaren  $(x_i, y_i)$ , die aus der Grundgesamtheit mit den Erwartungswerten  $\mu_1$  und  $\mu_2$  stammen, verglichen. Des Weiteren sollen die Differenzen  $d_i = x_i - y_i$  Realisationen einer normalverteilten Zufallsvariablen  $D$  mit dem Erwartungswert  $\delta$  sein. Die Prüfgröße wird gemäß Formel 4.13 berechnet:

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}. \quad (4.13)$$

Der Wert  $s_d$  bezeichnet dabei die empirische Standardabweichung der Differenzen  $d_i$ .

Als Beispiel für zwei verbundene Stichproben kann eine Messung des Körpergewichtes vor und nach einer Diät angeführt werden.

## 4. Datenanalyse

Einer der am häufigsten verwendeten *t*-Tests ist der *für zwei unverbundene Stichproben*. Dazu werden zwei unverbundene Stichproben der Umfänge  $n_1$  und  $n_2$  mit den Mittelwerten  $\bar{x}$  und  $\bar{y}$  vorausgesetzt. Ebenso müssen die Daten beider Stichproben normalverteilten Grundgesamtheiten mit derselben Varianz entstammen. Eine Unterscheidung beider Verteilungen sollte demnach höchstens in ihren Erwartungswerten vorliegen. Die Prüfgröße berechnet sich nach Formel 4.14:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}. \quad (4.14)$$

Mit  $s$  ist die Wurzel aus der mittleren Varianz  $s^2$  gemeint. Diese berechnet sich aus den empirischen Varianzen  $s_1^2$  und  $s_2^2$  gemäß Formel 4.15 als

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}. \quad (4.15)$$

Durch gleiche Stichprobenumfänge  $n_1 = n_2 = n$  können die Formeln 4.14 und 4.15 vereinfacht werden.

Als eines von vielen möglichen Beispielen eines *t*-Tests für zwei unverbundene Stichproben sei hier der Nachweis der Signifikanz der unterschiedlichen Körpergröße männlicher und weiblicher Testteilnehmer erwähnt.

Wie bereits mehrfach angeführt, ist die Verwendung von *t*-Tests mit strengen Voraussetzungen, wie beispielsweise der Forderung nach einer Normalverteilung, verknüpft. Diese ist jedoch für eine Vielzahl an Merkmalen in biologischen Systemen nicht vorhanden oder nicht bekannt. Ein Nachweis der Normalverteilung ist nicht möglich. Jedoch können anhand der Stichprobe Anhaltspunkte identifiziert werden, die für oder gegen eine Normalverteilung sprechen. Dazu zählen das Histogramm, Mittelwert und Median sowie Schiefe und Kurtosis. Nehmen letztgenannte einen Wert um 0 an, so spricht dies für eine Normalverteilung. Für einen *t*-Test für zwei unverbundene Stichproben sollte durch ein sauberes Studiendesign darauf geachtet werden, dass die Stichprobenumfänge mindestens 10 bzw. bei nicht symmetrischen Verteilungen 20 betragen sowie ähnlich groß sind und die Zufallsvariablen ungefähr denselben Verteilungstyp haben.

### 4.4.3. Rangsummentest

Rangsummentests werden alternativ zu den Lagetests verwendet, wenn die strengen Voraussetzungen nicht erfüllt werden können, vor allem bei kleinen Stichproben. Man bezeichnet diese als verteilungsfreie Tests, die keine bestimmte Verteilungsform voraussetzen. Die Berechnung der Prüfgrößen erfolgt auf Grundlage der Rangzahlen der Messwerte und nicht der Messwerte selbst. Im Wesentlichen fußen diese Tests auf den Arbeiten des Mathematikers Frank Wilcoxon,

#### 4. Datenanalyse

weswegen sie Wilcoxon-Tests genannt werden.

Der *Wilcoxon-Test für eine Stichprobe* überprüft, ob sich der Median einer Stichprobe von einem vorgegebenen Sollwert  $\tilde{\mu}_0$  unterscheidet. Der Test wird wie folgt durchgeführt:

- Differenzenbildung des Stichprobenwertes mit dem Sollwert; Eliminierung der Stichprobenwerte, die mit dem Sollwert übereinstimmen
- Sortierung der Differenzen nach der Größe ihres Betrags in aufsteigender Reihenfolge und entsprechender Nummerierung beginnend mit 1
- Zuweisung einer mittleren Rangzahl bei Gleichheit der Differenzen
- Summenbildung der Rangzahlen positiver und negativer Differenzen als  $R^+$  und  $R^-$
- Bestimmen der Prüfgröße als kleinere der beiden Rangsummen  $R^+$  und  $R^-$
- Bestimmen des kritischen Wertes gemäß Stichprobenumfang  $n$  und dem  $\alpha$ -Niveau
- Ablehnen der Nullhypothese, falls Prüfgröße kleiner oder gleich dem kritischen Wert ist

Voraussetzung zur Durchführung dieses Tests ist eine symmetrische Verteilung der Beobachtungsgrößen.

Ähnlich dem t-Test werden beim *Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben* die Mediane verglichen. Die Durchführung ist nahezu identisch mit dem soeben dargestellten Verfahren. Lediglich zu Beginn erfolgt die Bildung der Differenzen  $d_i = x_i - y_i$  aus den Stichprobenwerten für jedes Merkmal.

Auch hier wird die gleiche Verteilungsform vorausgesetzt. Dies ist jedoch meist der Fall.

Im letzten Fall, dem sogenannten *U-Test von Mann und Whitney*, werden zwei Mediane miteinander verglichen. Dieser Test ist das Pendant zum t-Test für zwei unverbundene Stichproben. Für die Zufallsvariablen  $X$  und  $Y$  werden etwa gleiche Verteilungsformen vorausgesetzt, jedoch keine Symmetrie oder Normalverteilung. Die Testdurchführung wird folgendermaßen stichpunktartig aufgezeigt:

- Sortierung und Nummerierung mit Rangzahlen aller Werte beider Stichproben in aufsteigender Reihenfolge
- Addition der Rangzahlen für jede Stichprobe  $R_1$  und  $R_2$ . Berechnung der Testgrößen  $U_1$  und  $U_2$  gemäß Formel 4.16

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (4.16)$$

- Bestimmung der Testgröße  $U$  als  $\min(U_1, U_2)$  und Vergleich mit kritischem Wert aus Tabelle

## 4. Datenanalyse

- Ablehnen der Nullhypothese, falls Testgröße  $U$  kleiner oder gleich dem kritischen Wert ist

Die berechnete Prüfgröße  $U$  nimmt einen Wert zwischen 0 und  $\frac{n_1 \cdot n_2}{2}$  an. Ist der Wert von  $U$  nahe 0, so ist der Unterschied der beiden Stichproben sehr groß und die Wahrscheinlichkeit der Annahme der Alternativhypothese erhöht.

Am Rand sei noch erwähnt, dass es neben den eben genannten Lagetests noch eine Vielzahl weiterer Tests zum Beispiel zum Vergleich von Häufigkeiten gibt. Einer der beliebtesten Vertreter ist hier der  $Chi^2$ -Test. Dieser dient zur Analyse von Häufigkeitsunterschieden, beispielsweise beim Vergleich zweier Therapiegruppen bezüglich ihrer Erfolgsraten. Da sich Häufigkeiten bei jeder Merkmalsart und jedem Skalenniveau ermitteln lassen, sind  $Chi^2$ -Tests sehr vielseitig anwendbar [83]. Auf diese Art der Tests wird jedoch nicht mehr weiter eingegangen.

### 4.4.4. Vergleich von t-Test und Rangsummentest

Nach der Beschreibung von t-Test und Rangsummentest wird zusammenfassend nochmals auf deren Unterschiede eingegangen.

Das Anwendungsspektrum für Rangsummentest ist breiter, da sie schwächere Voraussetzungen als t-Tests aufweisen. Solange die Reihenfolge der Daten nicht verändert wird, bleiben die Ränge von Datenmanipulationen weitgehend unberührt. Aus diesem Grund können auch quantitativ-diskrete und ordinal-skalierte Merkmale bei Rangsummentest herangezogen werden.

t-Tests hingegen sind mächtiger, da sie die in den Daten vorhandenen Informationen vollständig verwenden. Durch die Möglichkeit der Berechnung des Konfidenzintervalls kann zudem die Größe eines Unterschiedes beurteilt werden. Schließlich ist die Verwendung des Rangsummentests nicht immer sinnvoll, da lediglich die Reihenfolge der Daten ausgewertet wird.

## 4.5. Zusammenfassung

Die soeben vorgestellten Methoden der Datenanalyse sind nur eine kleine Auswahl existierender Methoden. Sie sind aber maßgebend, um ein telemedizinisches Assistenzsystem leistungsfähig für die Zukunft zu gestalten. So dienen Zeitreihenanalysen der Analyse von Beobachtungswerten und der Vorhersage künftiger Entwicklungen. Der Verlauf von einzelnen medizinischen Parametern, wie dem Blutzucker, sind essenziell für die richtige Therapie bzw. Dosierung von Medikamenten. Um diese relevanten Einzel- und Trendanalysen vor allem bei großen Datenmengen auswerten zu können, ist es notwendig, OLAP-Verfahren

#### 4. Datenanalyse

heranzuziehen. So kann beispielsweise der Verlauf der Entwicklung des Blutzuckers innerhalb eines bestimmten Zeitraums bei gestellter Diagnose mit verordneter Therapie dargestellt werden.

In gleicher Weise können moderne Data Mining Verfahren für technische Aspekte, präventive Vorhersagen, Diagnosen und Therapien herangezogen werden. Damit können nicht nur die Wirksamkeit bekannter Therapien untersucht oder Patienten anhand unterschiedlicher Attribute Krankheitsklassen zugeordnet werden, sondern es ist auch möglich, neue Zusammenhänge zu entdecken, Risikoabschätzungen von Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Erkrankungen durchzuführen und den Patienten individuell in seiner Therapie zu begleiten.

All diesen Verfahren ist gemein, dass die Analysen automatisiert ausgeführt werden können und sowohl dem Arzt als auch dem Patienten jederzeit unmittelbar zur Verfügung stehen. Letzten Endes stärken die hier dargestellten Methoden der Datenanalyse die Emanzipation des Patienten und ermöglichen die vollumfängliche Darstellung des Krankheitsbildes, womit der Arzt die bestmögliche Therapie für seinen Patienten bestimmen kann.

## 5. COMES<sup>®</sup> - ein telemedizinisches Assistenzsystem

Seit dem Einzug der Telematik - also dem Einsatz von *Telekommunikation* und *Informatik* - in die Medizin sind Begriffsprägungen wie Telemedizin oder E-Health entstanden. Nicht nur in der zwischenärztlichen Interaktion bzw. Kommunikation zwischen Ärzten und Paramedizinern ist diese Technologie nutzbar, sondern befriedigt auch den Wunsch (chronisch) Erkrankter und derer Angehörigen nach Sicherheit. Dabei erhebt die Telemedizin nicht den Anspruch, die „klassische“ Arzt-Patienten-Beziehung zu ersetzen; vielmehr muss ein telemedizinisches Assistenzsystem in ein ärztliches Umfeld, wie dem Hausarzt, einem medizinischem Versorgungszentrum oder einem medizinischem Callcenter zur Notfall- und Akutassistenz, eingebettet werden. Es genügt demnach nicht, telematische Sensorik zur Verfügung zu stellen, um ein telemedizinisches Expertensystem anpreisen zu können. Folglich muss ein telemedizinisches Assistenzsystem assistierend, lenkend sowie informierend sein und zugleich dem Patienten die informelle Selbstbestimmung ermöglichen [84].

Daraus erwuchs vor über zehn Jahren am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der Gedanke, auf Grundlage vorhandener und etablierter Technologien medizinanalytische Komponenten zu entwickeln und zu erproben, die den Erkrankten in das medizinische Versorgungssystem besser integrieren. Dabei wurde dem gestiegenen Mobilitätsbedürfnis in gleicher Weise Rechnung getragen wie den Anforderungen chronisch Kranker. Die zielführende Verwirklichung dieser Gedanken mündet im Projekt COMES<sup>®</sup>, das ein Kernthema dieser Arbeit darstellt. Der Name COMES<sup>®</sup> steht für COgnitive MEdizinische Systeme und ist eine mobile Diagnose- und Therapieplattform. Sie hat zum Ziel, nicht nur den Arzt oder das Behandlungszentrum mit den relevanten Daten zeitnah zu versorgen, sondern ebenso den jeweiligen Anwender in seiner vom Arzt verordneten Therapie zu begleiten und zu unterstützen. Dabei kann anhand des Trends medizinischer Daten der Therapieverlauf verfolgt und das Ergebnis dieser eingeschlagenen Behandlungsstrategie überprüft werden [84].

In den folgenden Kapitel werden zunächst der Aufbau und anschließend die einzelnen Komponenten von COMES<sup>®</sup> detailliert erläutert.

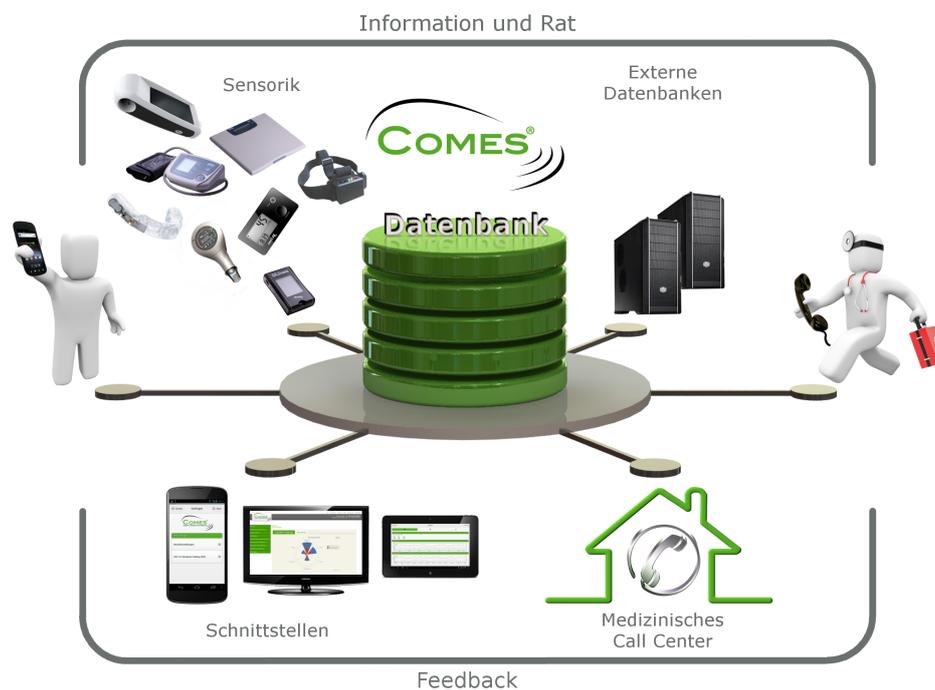
### 5.1. Aufbau und Architektur

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> ist zum Zeitpunkt dieser Arbeit eine breit angelegte, mobile Plattform zur Diagnose und Behandlung sehr unterschiedlicher Krankheits-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

bilder und Anwendungsbereiche. Es werden damit Personen angesprochen, die Krankheiten vorbeugen oder sich in ihrer Therapie begleitet fühlen wollen, räumlich unabhängig von ihrem Hausarzt oder Therapeuten. Andererseits profitieren auch Ärzte und Therapeuten von COMES<sup>®</sup>, da sie ihre Patienten aus der Ferne betreuen und einen detaillierten Blick über den Therapieprozess erlangen können. Um dieses Ziel zu erreichen, vereint COMES<sup>®</sup> die notwendigen Komponenten technischer und infrastruktureller Natur.

Aus diesem Grund besteht das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> aus unterschiedlichen Modulen, die ihrerseits modular aufgebaut sein können. Dies hat den Vorteil, dass es stetig erweitert und sich an neue technologische Entwicklungen anpassen und diese auch integrieren kann. In Abbildung 5.1 ist das Gesamtsystem schematisch dargestellt.



**Abb. 5.1.:** Aufbau der COMES<sup>®</sup>-Plattform, nach [18]

Im Modul *Sensorik* werden unterschiedlichste medizinische Sensoren an die COMES<sup>®</sup>-Plattform angebunden. Diese reichen von Blutdruckmessgerät und Waage über Schrittzähler und Blutzuckermessgerät bis hin zu Spirometer, Zahnschiene und Mess- und Therapiesystem für schlafbezogene Atemstörungen. All diese Geräte werden entweder von Firmen eingekauft oder, am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik entwickelt, von Ausgründungen vertrieben. Die Sensoren bilden die Grundlage, da somit medizinisch relevante Parameter vom Patienten selbst in authentischer Umgebung erfasst werden können.

Damit die gemessenen Daten später für alle Befugten abrufbar sind, müssen diese an die

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

COMES<sup>®</sup>-Datenbank übertragen werden. Dies wird im Modul *Schnittstelle* realisiert. Im Projekt COMES<sup>®</sup> werden hierfür handelsübliche Smartphones und Tablets mit unterschiedlichen Betriebssystemen verwendet. Die mit den medizinischen Sensoren gemessenen Daten werden über eine Funkschnittstelle wie Bluetooth, ANT+ oder NFC an das Smartphone bzw. Tablet automatisch übertragen. Mit Hilfe der COMES<sup>®</sup>-Applikation werden diese Daten aufbereitet und auf Basis des Simple Object Access Protocol (SOAP) an das COMES<sup>®</sup>-Center sicher übertragen.

Im Herzstück des COMES<sup>®</sup>-Systems, dem *COMES<sup>®</sup>-Center* befinden sich ein Datenbanksystem, ein Feedback- sowie ein Interventionsmanagementsystem. Im Datenbanksystem (vgl. Kapitel 3) werden nicht nur personenbezogene oder die vom Patienten gemessenen Daten, sondern auch Rückmeldungen oder therapeutische Maßnahmen gespeichert. Das Feedbackmanagementsystem (FMS) steuert die Rückmeldungen, die der Patient, Arzt oder sonstige autorisierte Personen, wie Angehörige des Patienten, erhalten. Im Interventionsmanagementsystem (IMS) hingegen werden die eingehenden Daten auf Plausibilität hin überprüft und auf vorgegebene Grenzwertüber- bzw. Grenzwertunterschreitungen entsprechende Informationen an das FMS weitergeleitet.

Das Modul *externe Datenbanken* bietet eine Schnittstellenbeschreibung, mit der der Datenaustausch mit externen Datenbanken realisiert werden kann. Dadurch kann entsprechend aufbereitetes Wissen anderer Datenbanken dem COMES<sup>®</sup>-System und somit auch den COMES<sup>®</sup>-Anwendern zur Verfügung stehen.

Das *Medizinische Call Center* stellt schließlich die Schnittstelle zu einem Call Center dar, in dem geschultes medizinisches Fachpersonal ärztliche Beratung erteilen kann. Da die ärztliche Telefonberatung in Deutschland bislang nicht oder nur in sehr wenigen Ausnahmefällen möglich ist, wird in COMES<sup>®</sup> lediglich die Schnittstelle bereit gestellt, diese jedoch nicht erprobt.

Einen etwas detaillierteren Blick auf die COMES<sup>®</sup>-Architektur mitsamt der Kommunikationswege liefert Abbildung 5.2. Dabei geben die Pfeile die Kommunikationsrichtung an.

Der Patient kommuniziert mit dem Arzt und seinen Angehörigen, nutzt die medizinischen Messgeräte und erhält Informationen vom bzw. teilt Informationen dem Feedbackmanagementsystem mit. In Abbildung 5.2 ist gut zu erkennen, dass bspw. nach einer Messung die Messwerte erst im Interventionsmanagementsystem auf Plausibilität und Grenzwertentgleisung hin überprüft werden. Danach wird über das FMS entsprechende Rückmeldung an den Patienten gegeben. Auf logischer Ebene existieren im COMES<sup>®</sup>-Center mehrere Datenbanken: Daten-Datenbank, individuelle Datenbank, Ontologie Datenbank und verschiedene externe Datenbanken. In der Daten-Datenbank sind neben den Daten der Organisationsstruktur und formale Patientendaten auch allgemeingültige Sachverhalte wie Plausibilitätsgrenzen für Messwerte hinterlegt. Die individuelle Datenbank enthält speziell auf den Patienten bezogene Daten wie persönliche Vorlieben für Feedbackmaßnahmen, Verhaltensmuster oder auch Therapiemaßnahmen und verordnete Medikamente. Die Ontologie Datenbank erfüllt den Zweck, dass sich externe Datenbanken und die COMES<sup>®</sup>-Datenbank, aber auch Patienten und Ärzte

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

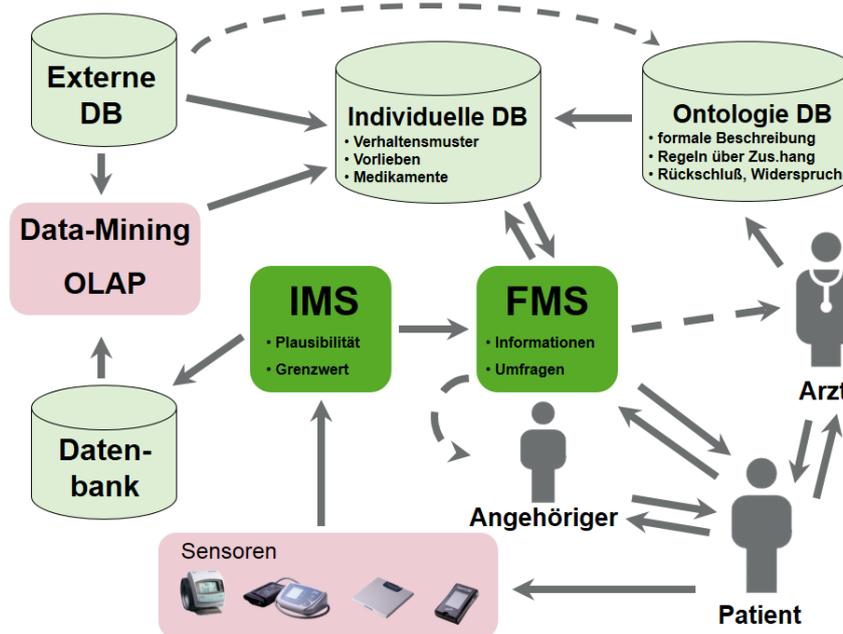


Abb. 5.2.: COMES<sup>®</sup>-Architektur

„verstehen“. Das Thema Ontologie wird jedoch in dieser Arbeit nicht weiter erörtert. Für die externen Datenbanken bietet, wie bereits erwähnt, COMES<sup>®</sup> eine Schnittstelle. Damit kann das vorhandene Wissen kulminiert und in aufbereiteter Form Arzt und Patient gleichermaßen zur Verfügung stehen. Um einen noch größeren Mehrwert für den Patienten und Arzt, aber auch für die Allgemeinheit zu erzeugen, werden moderne statistische Verfahren, wie beispielsweise Data Mining, eingesetzt. Dadurch können aufgrund der erhobenen Daten nicht nur individuelle Verbesserungen im Therapieverlauf, sondern auch neue Erkenntnisse über nicht bekannte Zusammenhänge gewonnen werden.

Mit diesen Maßnahmen und Möglichkeiten mutiert COMES<sup>®</sup> zu einer Art Expertensystem, das Handlungsempfehlungen auf Grundlage der vorhandenen, aber auch externen Wissensbasis ableitet. Diese Handlungsempfehlungen stehen nicht nur dem Patienten, sondern auch dem Arzt zur Verfügung. Intelligente, kontextabhängige und dialogorientierte Algorithmen und Prozesse wurden dafür verwendet, die in den folgenden Kapitel näher erläutert werden.

## 5.2. Sensoren und Schnittstellen

Wie bereits beschrieben, besteht das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> aus einer Vielzahl von medizinischen Sensoren und nutzt unterschiedliche Schnittstellen zur Datenübertragung. Im folgenden werden die einzelnen Sensoren und Schnittstellen aufgelistet sowie deren Status der Anbindung an COMES<sup>®</sup> dargelegt.

### 5.2.1. Sensoren

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> bietet ein breites Spektrum an medizinischen Sensoren. Darunter zählen ein Oberarmblutdruckmessgerät, eine Waage und ein Schrittzähler der Firma A&D Medical. Des Weiteren sind ein Oberarm- und Handgelenksblutdruckmessgerät sowie eine Waage der Firma I.E.M. GmbH an COMES<sup>®</sup> angebunden. Ein Spirometer der Firma sensor GmbH (Ausgründung des Heinz Nixdorf Lehrstuhls für Medizinische Elektronik), eine Zahnschiene zur Bruxismusdiagnose und Therapie sowie ein Sensor zur Messung atemwegsbezogener Schlafstörungen als Eigenentwicklungen des Lehrstuhls stehen für COMES<sup>®</sup> bereit. Schließlich sind je ein Schrittzähler der Firmen Garmin und HMM Holding AG sowie je ein Blutzuckermessgerät der Firmen HMM Holding AG und Cignus Healthcare Systems verfügbar. Weitere Sensoren können aufgrund des modularen Aufbaus leicht an COMES<sup>®</sup> angebunden werden. Eine genau Auflistung verfügbarer Sensoren mit Herstellerdaten, Funkschnittstellen und Status der Anbindung zeigt nachfolgende Tabelle 5.1.

Sensor	Hersteller	Schnittstelle	Status der Anbindung
Oberarmblutdruckmessgerät	A&D Medical	Bluetooth 2.0 Class 1 (akt. Bluetooth 2.1)	erfolgt
	I.E.M. GmbH	Bluetooth 2.0 Class 1	erfolgt
Handgelenksblutdruckmessgerät	I.E.M. GmbH	Bluetooth 2.0 Class 1	erfolgt
	Waage	A&D Medical	Bluetooth 2.0 Class 1 (akt. Bluetooth 2.1)
Aktivitätssensor	I.E.M. GmbH	Bluetooth 2.0 Class 1	erfolgt
	A&D Medical	NFC	erfolgt
Blutzuckermessgerät	HMM Holding AG	ANT+	erfolgt
	Garmin	ANT+	erfolgt
	HMM Holding AG	Bluetooth 2.0 Class 1, ANT+	erfolgt
Sensor für atemwegsbezogene Schlafstörung	Cignus Healthcare	Bluetooth 2.0 Class 1	erfolgt
	Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik	Bluetooth 2.0 Class 1	erfolgt
Spirometer	sensor GmbH	Bluetooth 2.0 Class 1	in Vorbereitung
Zahnschiene	Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik	Bluetooth 2.0 Class 1	in Vorbereitung

**Tab. 5.1.:** Auflistung der an COMES<sup>®</sup> angebotenen Sensoren

Im Projekt COMES<sup>®</sup> war und ist es nicht das Ziel, die Sensoren selbst zu entwickeln; vielmehr werden die Geräte ausschließlich von externen Firmen eingekauft oder Eigenentwicklungen des Lehrstuhls im Rahmen anderer Projekte verwendet.

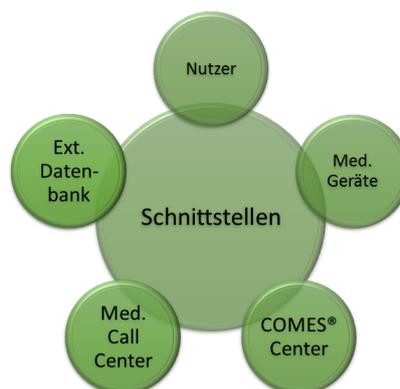
## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Die Auswahl medizinischer Geräte ist nicht nur der Verfügbarkeit, sondern auch den großen Volkskrankheiten Diabetes und Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems sowie multimorbiden Krankheiten geschuldet. Mit Blutdruckmessgerät, Waage, Aktivitätssensor und Blutzuckermessgerät können wichtige Parameter dieser Krankheiten überprüft und der Therapieverlauf beobachtet werden.

Schließlich ist beim Einkauf darauf zu achten, dass die medizinischen Sensoren Schnittstellen anbieten, die auch in Smartphones und Tablets verfügbar sind.

### 5.2.2. Schnittstellen

Für das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup>, wie es soeben kurz umrissen wurde, bedarf es unterschiedlicher Schnittstellen. Auf der einen Seite sollen die selbst erhobenen Messwerte in das COMES<sup>®</sup>-Center übertragen werden. Auf der anderen Seite soll für alle beteiligten Personen, also Patient, Arzt, Angehörige des Patienten, usw. eine Möglichkeit bestehen, Informationen von COMES<sup>®</sup> zu empfangen, aber auch dorthin zu übertragen. Schließlich ist eine Schnittstelle zu externen Datenbanken und einem medizinischem Call Center erforderlich. Abbildung 5.3 veranschaulicht die erforderlichen Schnittstellen.



**Abb. 5.3.:** Schnittstellen der COMES<sup>®</sup>-Plattform

All diese Schnittstellen sind unterschiedlicher Natur und stellen verschiedenartige Herausforderungen dar. Im Folgendem werden diese näher erläutert.

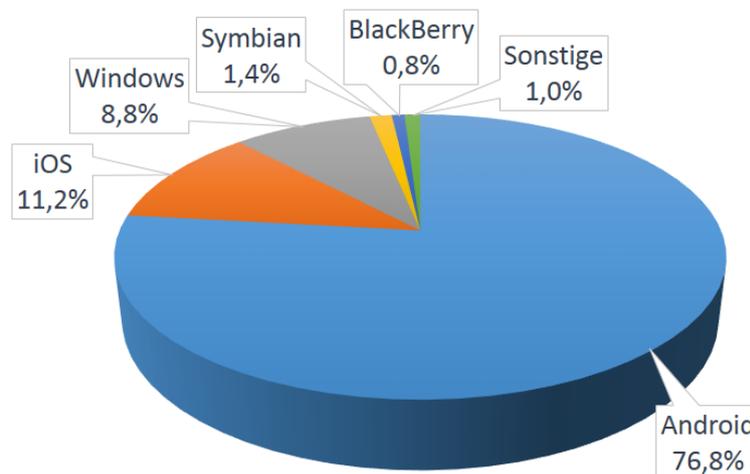
#### 5.2.2.1. Schnittstelle zum Nutzer

Die Schnittstelle zum Nutzer ist eine der wichtigsten, da hier die Interaktion mit dem Patienten erfolgt. Der Patient erhält nicht nur einen Überblick über seine gemessenen Werte, sondern wird über seinen Therapieverlauf gleichermaßen informiert und zur Durchführung motiviert.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Auch nützliche Informationen zu seiner Krankheit selbst oder zur Unterstützung nötiger Änderungen seines Lebensstils können über diese Schnittstelle kommuniziert sowie Tätigkeiten allgemeiner oder administrativer Natur erledigt werden. Im Projekt COMES<sup>®</sup> findet daher ein handelsübliches Smartphone oder Tablet sowie für Arzt oder Angehörige alternativ ein Computer oder Laptop Anwendung.

Die Marktdurchdringung mit Smartphones ist schon weit fortgeschritten. Laut dem Statistik-Portal statista liegt der Anteil der Smartphone-Nutzer an allen Mobiltelefonbesitzern in Deutschland im Juli 2013 bei 59% [85]. Ähnlich verhält es sich mit Tablets: die Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik gibt in ihrem Bericht Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) an, dass im Zeitraum vom ersten bis dritten Quartal 2013 3,5 Millionen Tablets in Deutschland verkauft wurden, was einer Steigerung von 88,5% gegenüber dem Vorjahr bedeutet [86]. Das heißt, dass bereits heute schon eine Vielzahl von Bundesbürgern ein Smartphone und / oder ein Tablet besitzen.

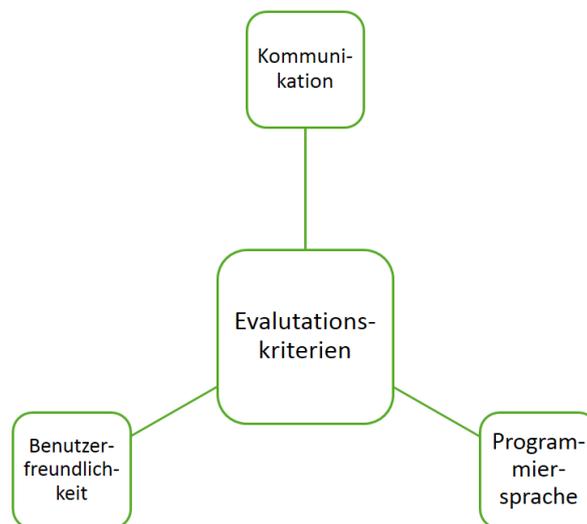


**Abb. 5.4.:** Verkaufszahlen Smartphone-Betriebssysteme in Deutschland von Mai bis Juli 2013 [87]

Das Betriebssystem ist auf Softwareebene das Herz eines Smartphones respektive Tablet. Es bestimmt Funktionen, Leistung, Sicherheit und Zusatzprogramme dieser Geräte. Der Markt bietet ein breites Spektrum an solchen Betriebssystemen. Dabei halten die fünf größten Anbieter rund 99% des Marktvolumens. Aus Abbildung 5.4 wird deutlich sichtbar, dass rund 3/4 aller neu verkauften Smartphones in Deutschland mit einem Android-Betriebssysteme laufen und somit Android unangefochtener Marktführer ist. Dahinter folgen Apples iOS sowie Windows. BlackBerry OS von RIM und Symbian, einstige Marktführer, genießen nur noch ein Nischendasein [88].

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Die genauere Betrachtung der einzelnen Smartphone-Betriebssysteme ist entscheidend, da hier die Kommunikation der medizinischen Sensoren mit dem COMES<sup>®</sup> Trust Center und der Kontakt zum Patienten erfolgt. In den letzten Jahren hat sich im Bereich der Smartphone-Betriebssysteme ein großer Wandel vollzogen. Einerseits waren und sind die Smartphone-Betriebssysteme einer raschen Entwicklung aufgrund steigender Verkaufszahlen unterzogen. Andererseits sind, wie bereits angedeutet, einstige Marktführer in die Bedeutungslosigkeit abgedriftet. Deshalb werden für die Evaluation lediglich die Smartphone-Betriebssysteme Android, iOS, WindowsPhone 8 sowie als Ausnahme BlackBerry betrachtet. Dies liegt darin begründet, dass zu Beginn des Projektes COMES<sup>®</sup> Smartphones von BlackBerry eingesetzt wurden. Zur Evaluation werden, wie in Abbildung 5.5 angedeutet, die Kriterien Kommunikation, Benutzerfreundlichkeit sowie Programmiersprache herangezogen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die bereits 2011 vom Autor erhobene Evaluation [88] und erneuern bzw. erweitern diese.



**Abb. 5.5.:** Evaluationskriterien für Smartphone-Betriebssysteme, angelehnt an [88]

Zur Kommunikation zwischen dem Smartphone und anderen Geräten bedarf es unterschiedlicher Schnittstellen. Zwischen zwei Geräten ist die Datenübertragung per Funk oder drahtgebunden seriell möglich. Es werden die gängigen Funkstandards WLAN und Bluetooth sowie die serielle Schnittstelle USB betrachtet. Außerdem werden die auf dem Markt erhältlichen medizinischen Produkte mit Datenschnittstelle zugrunde gelegt. Beim Funkstandard Bluetooth werden die Smartphone-Betriebssysteme gleichermaßen auf gängige Bluetooth-Profile, die für einen Datenaustausch mit medizinischen Messgeräten aufgrund der Marktgegebenheiten erforderlich sind, sowie auf die Fähigkeit, Bluetooth low energy (BTLE) anzubieten, hin untersucht. WLAN spielt derzeit eine untergeordnete Rolle, fließt jedoch in die Betrachtungen mit ein. Auf ANT+ als alternativen Funkstandard zu BTLE wird am Schluss kurz eingegangen.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Nicht berücksichtigt werden Funktechniken wie beispielsweise ZigBee.

Ein weiteres zu untersuchendes Kriterium ist die Benutzerfreundlichkeit der Geräte im Hinblick auf Multitaskingfähigkeit und der Möglichkeit automatischer Updates. Für den Komfort des Nutzers ist es wichtig, dass Programme im Hintergrund laufen, damit regelmäßige Aktionen, wie bspw. das Empfangen und Übertragen selbst gemessener Parameter, möglich sind, unabhängig davon, welches Programm gerade verwendet wird. Weiterhin ist es entscheidend, dass bestehende Softwarefehler schnellstmöglich durch ein Software-Update behoben werden können, damit es zu keinen gefährlichen Konsequenzen für den Nutzer kommen kann. Schließlich werden die Programmiersprache und die Möglichkeit der Übertragbarkeit auf andere Geräte betrachtet.

### **Android**

Das jüngste auf dem Markt befindliche Betriebssystem Android wird von der Open Handset Alliance (OHA) entwickelt. Dies ist ein Konsortium aus 87 Mitgliedern (Stand November 2013), zu denen Firmen wie Google, T-Mobile, Intel Corporation und Samsung Electronics gehören [89]. Android wird für Smartphones und Tablets, aber auch in der Automobilindustrie eingesetzt. Es unterstützt neben Java für performance-kritische Abschnitte die Programmiersprachen C und C++. Somit bietet Android eine moderne und zukunftssichere Architektur. Als Schnittstellen nach außen sind die serielle Schnittstelle USB sowie die Funktechnologien Bluetooth, seit Android 4.3 Bluetooth Low Energy, WLAN, ANT+ sowie NFC und andere vorhanden. Dabei steht dem Anwender das für medizinische Geräte häufig verwendete Bluetooth-Profil SPP zur Verfügung. Aber auch andere Profile, wie das Health Device Protocol (HDP), sind in Android integriert. Die Fähigkeit, mehrere Aufgaben gleichzeitig auszuführen, das sog. Multitasking, war von Beginn an eines der Hauptanliegen von Android. Applikationen können über das Portal Google Play Store in Umlauf gebracht werden. Über dieses Portal sind auch automatische Software-Updates möglich. Ein Update des Betriebssystems ist hingegen vom Gerätehersteller abhängig [90], [91].

### **iOS**

Apples iPhone ist ein autarkes Smartphone mit einem in sich geschlossenen Betriebssystem. Das bedeutet, dass Apple jederzeit die volle Kontrolle über seine Hard- und Software hat. Applikationen für das aktuelle Betriebssystem iOS 7 können mittels Objective C und für performance-starke Anwendungen unter Zuhilfenahme von C und C++ programmiert werden. Das Betriebssystem iOS unterstützt demnach kein Java; durch Drittanbieter besteht zwar die Möglichkeit der Einbindung von Java, diese Angebote sind jedoch oft unvollständig und daher für Medizinprodukte nicht geeignet. Mit iOS stehen dem Anwender die Schnittstellen Bluetooth, BTLE und WLAN sowie ein Datenslot für serielle Kommunikation zur Verfügung. Zur USB-Datenübertragung ist jedoch ein Adapter nötig. Gemäß den Herstellerangaben stellt das iPhone lediglich sieben Bluetooth- Profile zur Verfügung, die aber nur im Bereich der Audio- bzw. Videodatenübertragung oder im Bereich der Netzverbindung liegen. Medizinische Sensoren, die meist das Serial Port Profile (SPP) nutzen, können mit Apples iOS nur dann kommunizieren, wenn die Hersteller dieser Sensoren einen von Apple bereitgestellten Chip verwenden. Messdaten medizinischer Sensoren können daher nur über WLAN, BTLE

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

oder den sogenannten Lightning Connector übertragen werden. Seit iOS 4 steht auch für Apples Betriebssystem Multitasking zur Verfügung, wurde aber bis zuletzt stiefmütterlich behandelt. So war es nur auf bestimmte Funktionen einzelner Applikationen beschränkt, wie beispielsweise dem Hören von Musik. Seit iOS 7 sind diese Einschränkungen aufgehoben, was zu einem echten, zu anderen Betriebssystemen vergleichbaren, in manchen Dingen wie dem automatischen Aktualisieren von Inhalten, bevor die Applikation in der Regel benutzt wird, überlegenen Multitasking führt. Applikationen für iPhone, iPad und Co. können über Apples App Store heruntergeladen und automatische Software-Updates eingespielt werden. Ein Betriebssystem Update ist mittlerweile wie bei anderen Betriebssystemen auch „Over The Air“ (OTA) möglich [92], [93].

### **Windows Phone 8**

Windows Phone 8 ist die Fortsetzung der Windows-Betriebssystem-Familie für Handys und Smartphones. Im Gegensatz zu seinem Vorgänger, Windows Phone 7, beruht der Kernel nicht mehr auf der Windows-CE Technologie, sondern es kommt erstmals der vom PC her bekannte NT-Kernel zum Einsatz. Das hat den Vorteil, dass die Entwicklung von Treibern um einiges einfacher ist. Dieses Betriebssystem ist ein eingebettetes Echtzeitbetriebssystem von Microsoft für eine große Anzahl von kleinen Geräten wie Smartphones und Tablets. Windows Phone 8 verwendet als Programmiersprache C# und mit Hilfe des Frameworks Silverlight auch VB.net. Für die Spieleentwicklung steht das für die Xbox bekannte Framework XNA zur Verfügung. Eine Anwendung kann daher nur mit erheblichem Aufwand auf andere Betriebssysteme übertragen werden. Als Schnittstellen werden USB, WLAN, Bluetooth und NFC angeboten. Für Bluetooth stehen jedoch nur einige wenige Profile zum Verbinden mit Headsets, Lautsprechern oder Laptops zur Verfügung. Laut der Entwicklerseite von Nokia ist es aber dennoch möglich, das für viele medizinische Sensoren wichtige Serial Port Profile einzubinden. Ähnlich verhält es sich mit der Unterstützung für Bluetooth Low Energy. Offiziell gibt es von Microsoft keine Programmierschnittstelle (API, Application Programming Interface) für BTLE. Jedoch bestätigt Nokia dessen Unterstützung [94]. Nach Angaben von Microsoft ist das aktuelle Betriebssystem multitaskingfähig. Applikationen können über den Windows Phone Store vertrieben werden und automatische Software-Updates sind möglich [95], [96].

### **BlackBerry OS**

BlackBerry hat seine Erfolgsgeschichte mit einem sogenannte Personal Information Manager (PIM), zur Verwaltung persönlicher Daten mittels drahtloser Kommunikation, gestartet und bieten neben einer Client-Server-Architektur die dazu nötigen Smartphones an. Einst beherrschten sie diesen Markt, mussten aber in den vergangenen Jahren kräftig Marktanteile einbüßen und sind in Deutschland, aber auch in anderen Industrienationen in die Bedeutungslosigkeit verschwunden. Das BlackBerry Betriebssystem wird an dieser Stelle nur erwähnt, da es zu Beginn des Projektes COMES<sup>®</sup> eingesetzt wurde. Das RIM BlackBerry OS (im Folgenden BlackBerry genannt) ist eine proprietäre Plattform, speziell abgestimmt auf BlackBerry-Smartphones, und wird von Research in Motion (RIM) vertrieben. Das BlackBerry unterstützt als Programmiersprache Java Micro Edition (ME). Damit ist es möglich, Anwendungen unabhängig von der Geräte-Hardware und dem Betriebssystem auszuführen, womit eine sehr große Anzahl verschiedener Mobilplattformen unterstützt werden kann. Als Schnittstellen stehen neben

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

USB auch WLAN, Bluetooth, BTLE und NFC bereit. Für Bluetooth werden eine Vielzahl von Profile angeboten, u.a. das SPP. BlackBerry unterstützt Multitasking, was die Ausführung von mehreren Anwendungen gleichzeitig zulässt. Damit können Programme im Hintergrund laufen, während der Anwender z. B. eine E-Mail verfasst. Das Unternehmen RIM bietet Anwendern die BlackBerry App World als Portal an, in das Programme eingestellt werden können. Scheinbar ist es aber nicht möglich, Software-Updates automatisch auszuführen, Betriebssystem-Updates können hingegen ohne Probleme vorgenommen werden [97].

Smartphones bieten eine interaktive Schnittstelle zwischen Patient, Arzt und telemedizinischem Assistenzsystem. Dabei sind unterschiedliche Anforderungen an ein Smartphone zu stellen, um bestmöglichen Bedienkomfort und Sicherheit sowohl für den Anwender als auch Entwickler zu gewährleisten. Es erfüllt aber kaum eines der vorgestellten Smartphone-Betriebssysteme all diese Kriterien. Jedes besitzt seine Stärken und Schwächen. So ist beispielsweise Bluetooth in jedem Betriebssystem integriert, es werden aber von iOS und Windows Phone 8 nicht alle Profile unterstützt. Auch das moderne Bluetooth Low Energy ist nicht in jedem Betriebssystem vollumfänglich verwendbar. Der zu BTLE vergleichbare Funkstandard ANT+ wird lediglich von Android unterstützt. Für das iPhone ist die Nutzung mittels eines speziellen Plug-In möglich [98]. Die recht junge Schnittstelle NFC ist hingegen mit jedem Betriebssystem außer dem iOS 7 verwendbar. Die Fähigkeit, Daten über das Internet zu senden, ist bei allen Smartphone-Betriebssystemen gegeben. Im Projekt COMES<sup>®</sup> wird dafür die Schnittstelle SOAP verwendet. Diese wird in Kapitel 5.2.2.3 näher beschrieben. Die Betriebssysteme sind multitaskingfähig und automatische Updates sind nahezu überall möglich. Eine Auflistung der Ergebnisse zeigt Tabelle 5.2.

Kriterien wie Akkulaufzeit oder Integration von Funkmodulen sind überwiegend herstellerabhängig. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Akkulaufzeit bei den meisten Geräten für die geplanten medizinischen Anwendungen ausreichend ist. Dabei ist aber zu beobachten, dass BlackBerrys die beste Akkulaufzeit haben, dicht gefolgt von Windows Phone 8 Geräten von Huawei und Nokia. Dahinter sind Geräte von Motorola, Huawei, LG und Samsung mit dem Betriebssystem Android platziert. Andere Tests drehen die Reihenfolge etwas um, jedoch sind auch hier die besagten Geräte unter den Top 10. Allen Tests gleich ist die schlechte Akkulaufzeit von iPhones [99], [100]. Die Integration von Funkmodulen ist vor allem bei Geräten mit den Betriebssystemen Android und Windows Phone 8 zu beachten. Denn die Stärke von Android bzw. Windows Phone 8, der Betrieb auf unterschiedlichsten Geräten von verschiedensten Herstellern, ist gleichzeitig ihre Schwäche. Die Hersteller nehmen verschiedene Chips und integrieren diese mehr oder weniger gut. Dies führt beispielsweise dazu, dass bei manchen Smartphones der Bluetoothlistener - das Programm „hört“ im Hintergrund auf eingehende Bluetooth-Daten - regelmäßig abstürzt, bei anderen aber nicht. Diese Probleme sind bei iPhone und BlackBerry kaum vorhanden, da sie ihr Betriebssystem auf ihre Hardware optimal abstimmen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich nicht jedes Smartphone für den Einsatz in der Telemedizin gleichermaßen eignet, ungeachtet der Marktanteile und somit Vorlieben der Anwender. Es ist es demzufolge sehr wichtig, die Bedürfnisse der Kunden und den Anwen-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Merkmal	Android	iOS 7	Windows Phone 8	BlackBerry OS
Bluetooth	ja	nur wenige Profile	nur wenige Profile	ja
Bluetooth Low Energy	ja	ja	keine API, aber für Nokia mgl.	ja
WLAN	ja	ja	ja	ja
ANT+	ja	vereinzelt mit Zubehör	nein	nein
USB	ja	ja	ja	ja
Multitasking	ja	ja	ja	ja
Übertragbarkeit der Software	leicht	schwer	schwer	leicht
automat. Software-Update	ja	ja	ja	nein

**Tab. 5.2.:** Erfüllung der telemedizinischen Anforderungen an ein Smartphone

dungsbereich der telemedizinischen Assistenzlösung schon zu Beginn der Produktentwicklung zu kennen und dementsprechend das Smartphone-Betriebssystem auszuwählen.

Im Projekt COMES<sup>®</sup> wurden zu Beginn BlackBerrys eingesetzt und im weiteren Verlauf auf Grund der Offenheit und guten Verfügbarkeit auf Geräte mit dem Android-Betriebssystem umgestellt.

### 5.2.2.2. Schnittstelle zu medizinischen Geräten

Als Schnittstelle zwischen einem medizinischem Sensor und einem Smartphone oder Tablet kann eine serielle genauso wie eine Funkschnittstelle Verwendung finden. Im vorherigen Kapitel 5.2.2.1 wird aufgezeigt, welche Schnittstellen die einzelnen Smartphone-Betriebssysteme unterstützen. Im Folgenden werden die serielle Schnittstelle USB sowie die Funkschnittstellen Bluetooth, Bluetooth Low Energy, NFC, ANT+ und WLAN kurz beschrieben sowie deren Vor- und Nachteile aufgezeigt. Eine ausführliche Beschreibung ist für diese Arbeit nicht notwendig, da diese von Sensor- und Smartphone-Hersteller gleichermaßen vorgegeben werden. Es soll hier lediglich eine Grundlage für die Entscheidung der Sensor-Auswahl aufgezeigt werden.

#### USB

Der Universal Serial Bus, kurz USB, ist ein serielles Bussystem zur Verbindung zwischen zwei Geräten. USB ist Host-gesteuert, wobei nur ein Host pro Bus möglich ist. Beim Host handelt es sich meist um einen PC. Mit der sogenannten On-The-Go (OTG) Spezifikation, die seit USB 2.0 existiert, kann man jedoch die Notwendigkeit eines Computers umgehen. Damit wurde

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

man der Forderung gerecht, dass auch die immer größer werdende Anzahl an USB-fähigen Geräten, die kein PC sind, untereinander Daten austauschen können. Dies geschieht dadurch, dass ein Gerät eine eingeschränkte Host-Funktionalität übernimmt. Dies ist aber nur zwischen zwei Geräten möglich, die OTG unterstützen. Zudem können nicht mehrere Geräte, wie beim USB-Anschluss am PC, angeschlossen werden. Auf die unterschiedlichen Übertragungsmodi und Datenraten wird nicht weiter eingegangen. Im Bezug auf die Datenintegrität ist noch anzumerken, dass USB-Geräte immer ordnungsgemäß abgemeldet werden sollten, da moderne Controller die zu schreibenden Daten aus Geschwindigkeitsgründen zwischenspeichern, bevor sie dauerhaft auf das Zielobjekt gespeichert werden [101], [102].

Für telemedizinische Assistenzsysteme bedeutet dies, dass sowohl das medizinische Gerät als auch das Smartphone USB-On-The-Go unterstützen sollten, damit kein zusätzlicher PC samt Software zum Auslesen der Daten benötigt wird. Bei den Smartphones gibt es schon einige Geräte die USB-OTG-fähig sind, jedoch unterstützt die weit größere Anzahl an Smartphones lediglich USB 2.0 oder USB 3.0.

### **Bluetooth**

Bluetooth ist eine standardisierte Datenschnittstelle, die Daten zwischen Geräten über eine kurze Distanz per Funktechnik überträgt. Sie wurde von der Bluetooth Special Interest Group (SIG), einer Interessengemeinschaft mit mehr als 20.000 Mitgliedern, entwickelt. Zur Datenübertragung nutzt Bluetooth das lizenzfreie ISM-Band (Industrial Scientific Medical Band) zwischen 2,402 und 2,480 GHz, wodurch 79 je ein MHz breite Kanäle zur Verfügung stehen. Da auch viele andere drahtlose Übertragungsverfahren, wie WLAN, dieses Frequenzband nutzen, bedient sich Bluetooth dem sogenannten Frequenzsprungverfahren (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum), um Störungen zu vermeiden und eine stabile Datenverbindung zu garantieren. Dabei werden die Kanäle mit 1.600 Frequenzsprüngen pro Sekunde gewechselt. Die Daten werden auf mehreren synchronen und einem asynchronen Datenkanal übertragen. Beim SCO-Verfahren (Synchronous Connection Oriented) werden Daten in beide Richtungen mit der gleichen Datenrate übertragen. Dieses Verfahren wird hauptsächlich bei der Übertragung von Sprache genutzt. Dabei steht die Qualität der Verbindung im Vordergrund. Werden hingegen Daten ausgetauscht, so ist dies nicht zeitkritisch, sollen aber vollständig empfangen werden können. Dafür wird das ACL-Verfahren (Asynchronous Connectionsless Link) verwendet. Es ist möglich, Daten symmetrisch, also mit gleicher Datenrate, oder asymmetrisch, mit unterschiedlicher Datenrate, zu übertragen. Somit hat Bluetooth den Vorteil, dass es beide Übertragungsverfahren symmetrisch und asymmetrisch beherrscht. Die Übertragungsgeschwindigkeit hängt mit der Bluetooth-Version zusammen und reicht von 1MBit/s bis 3MBit/s Bruttodurchsatz. Die Reichweite beträgt je nach Klasse zwischen 10 Meter mit einer maximalen Sendeleistung von 1 mW bis zu 100 Meter mit einer maximalen Sendeleistung von 100 mW. Für die Bluetooth-Datenübertragung existieren drei Sicherheitsstufen, die je nach Stufe eine Authentifizierung erfordern [103], [104], [105], [106], [107].

### **Bluetooth Low Energy**

Bluetooth Low Energy, auch unter dem Namen Bluetooth 4.0 bekannt, ist eine sehr stromsparende Weiterentwicklung von Bluetooth. Bei einem Verbrauch von etwa  $100\mu Ah$  pro Tag

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

ist es damit möglich, dass die Chips mit einer kleinen Batterie mehrere Jahre arbeiten können. Die Reduzierung des Stromverbrauchs wird u.a. durch das geringe Tastverhältnis von Übertragungsmodus zu Ruhezustand von 0,25% sowie der Reduzierung der Sendeleistung erreicht. Die Datenübertragung erfolgt weiterhin im 2,4 GHz-Band mit 40 je 2 MHz breite Kanäle, wobei drei Kanäle als sogenannte Signalisierungskanäle reserviert sind. Dadurch können Geräte in der näheren Umgebung schnell gefunden werden, da die Peripheriegeräte ihre Anwesenheit anzeigen, wenn sie zuerst eingeschaltet werden oder Daten senden wollen. Die Datenrate ist auf 260 kBit/s begrenzt. Zur Datensicherheit benutzt Bluetooth Low Energy den Advanced Encryption Standard (AES) mit 128 Bit. Bluetooth Low Energy Chips sind in zwei Varianten erhältlich: Single Mode BTLE Chips haben lediglich das Bluetooth Low Energy Protokoll implementiert, wohingegen Dual Mode BTLE Chips Bluetooth Low Energy mit einem herkömmlichen Chip in der Spezifikation 1 bis 3+HS (BR/EDR) kombinieren [106], [107], [108], [109], [110], [111].

### **NFC**

Near Field Communication (NFC), zu deutsch Nahfeldkommunikation, ist ein auf Funktechnik aufbauender Übertragungsstandard zum Austausch von Daten über kurze Distanz (bis zu 4 cm). Bei entsprechenden Standardisierungsvorhaben (ISO/IEC 14443 A& B and JIS-X 6319-4) wurde NFC schon früh berücksichtigt. Das sogenannte NFC Forum hat sich zum Ziel gesetzt, Spezifikationen zu entwickeln und die Interoperabilität zwischen den Geräten und Diensten sicherzustellen. Es besteht seit 2004 und hat mittlerweile 190 Mitglieder, darunter namhafte Firmen wie Google Inc., Samsung Electronics Co., Ltd. und Texas Instruments Incorporated. NFC arbeiten im Frequenzband von 13,56 MHz und erreicht eine Übertragungsrate von 424 kBit/s, wodurch die Datenart eingeschränkt ist. Durch die Spezifizierung der Datenübertragung auf kurze Distanz möchte man das Ausspähen der übertragenen Daten erschweren. NFC-Geräte können sowohl im passiven, als auch im aktivem Modus arbeiten. Beim passiven Modus erhält NFC die Energie aus dem Hochfrequenzfeld der aktiven Komponente; d.h. die Daten werden auch bei ausgeschaltetem Gerät gesendet. In diesem Fall spricht man ebenso von „Card Emulation“, da das Gerät als Karte fungiert. Im Gegensatz dazu benötigt das NFC-fähige Geräte, wie bspw. das Smartphone, für den aktiven Modus eine eigene Energiequelle (z.B. Akkumulator). Dabei können im Peer-to-Peer-Modus Daten zwischen zwei Geräten ausgetauscht werden oder im Reader/Writer Modus kostengünstige NFC-Tags beschrieben oder ausgelesen werden. Die Anwendungsgebiete sind breit gefächert. Sie reichen von Schranken- und Türöffnern via Smartphone über das automatische Pairing für Bluetooth bis hin zum Mobile Payment [112], [113].

### **ANT+**

Ähnlich wie Bluetooth Low Energy nutzt der Funkstandard ANT+ zur Datenübertragung das 2.4 GHz ISM-Band und hat sich vor allem in der Sportwelt als kostengünstiger und stromsparender Funkstandard etabliert. Die ANT+ Allianz, organisiert von der Firma Dynastream und bestehend aus mehr als 300 Firmen, wie Samsung Electronics Co., Ltd., A&D Medical und Adidas, treibt die Entwicklung voran. Für ein ANT+ Netzwerk stehen verschiedene Profile zur Spezifizierung der Datenformate, Kanalparameter und Netzwerkschlüssel für einzelne Anwendungsfälle, wie bspw. Geschwindigkeit und Distanz, zur Verfügung. Die Topologie des ANT+ Netzwerkes kann als Peer-to-Peer-Netz oder als vermaschte Netze aufgebaut sein. Der

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Kriterium	Bluetooth	BTLE	NFC	ANT+	WLAN
Standardisierungsgremium	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	ISO/IEC	Garmin	Wi-Fi Alliance
Netzwerkstandard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.1	ISO 13157	proprietär	IEEE 802.11
Netzwerktyp	WPAN	WPAN	Punkt-zu-Punkt	WPAN	WPAN
Übertragungsdistanz im freien Feld	100 m (class 2)	100 m	< 0,2 m	100 m	140 m
Frequenzband	2,4 GHz	2,4 GHz	13,56 MHz	2,4 GHz	2,4GHz, 5GHz
Nomineller Datendurchsatz	2 - 3 Mbit/s	1 Mbit/s	424 kBit/s	1 Mbit/s	54 Mbit/s
Stromverbrauch	< 40 mA (class 2)	< 15 mA RX und TX	< 15 mA	15 mA RX / 17 mA TX	100 - 250 mA RX / 250 - 350 mA TX
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• etabliert</li> <li>• im SP verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• energie-sparend</li> <li>• mit BT kombinierbar</li> <li>• wird in nahezu allen neuen SP integriert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfachheit</li> <li>• energie-sparend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im Sportbereich etabliert</li> <li>• energie-sparend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• etabliert</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höherer Stromverbrauch</li> <li>• nicht alle Profile in SP verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• noch nicht ausreichend erprobt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktion durch Anwender zum Datenaustausch notwendig</li> <li>• wird nicht von allen SP-OS unterstützt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nur für wenige SP verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• anfällig für Störungen</li> <li>• hoher Stromverbrauch</li> </ul>

**Tab. 5.3.:** Gegenüberstellung verschiedener Funkstandards

Stromverbrauch mit einem Mittelwert von  $30\mu A$  und einem Spitzenwert von 10 mA bis 20 mA ist sehr gering. Damit ist ein Betrieb mit einer Knopfzelle über mehrere Jahre hinweg möglich. Die Datenrate erreicht je nach Betriebsart bis zu 20 kBit/s. Die Sicherheit ist durch eine 64-Bit-Verschlüsselung sichergestellt. Durch eine zyklische Blockprüfung (CRC) werden die übertragenen Daten zusätzlich validiert [114], [115].

### WLAN

Als Wireless Local Area Network, kurz WLAN, bezeichnet man ein drahtloses lokales Netz, das auf der Norm IEEE-802.11 aufbaut. Die Daten werden im 2,4 GHz ISM-Band sowie im 5 GHz Bereich übertragen. Die Übertragungsraten variieren je nach Standard zwischen 2 MBit/s und 1.300 MBit/s brutto, real werden jedoch 0,5 MBit/s bis 400 MBit/s erreicht. Zur Datenübertragung werden verschiedene Modulationsverfahren, Codiertechniken und Funk-Übertragungsverfahren verwendet. Dazu zählen die Spreizbandtechnik (DSSS) zur Verringerung der Störanfälligkeit und Erhöhung der Sicherheit gegenüber fremdem Abhören durch Vergrößern des Frequenzbereichs sowie das Frequenzsprungverfahren (FHSS) zur Aufteilung der Datenpakete in verschiedene Frequenzspektren [116], [117].

Zusammenfassend kann man sagen, dass jede Schnittstelle ihre Vor- und Nachteile besitzt. In Tabelle 5.3 sind die wichtigsten Eckdaten zu Bluetooth, Bluetooth Low Energy, NFC, ANT+ und WLAN dargestellt.

Letztendlich kommen für die Auswahl noch bestimmte Rahmenbedingungen wie Bedienkomfort und Verfügbarkeit zum Tragen. So wird die USB-Schnittstelle aufgrund der Notwendigkeit, den medizinischen Sensor mit dem Smartphone durch ein Kabel zu verbinden, sowie der Voraus-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

setzung eines USB-OTG-Anschlusses für das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> nicht weiter betrachtet.

Schließlich werden aufgrund dieser Auswertung für COMES<sup>®</sup> nur medizinische Sensoren mit Bluetooth, NFC und ANT+ für weitere Untersuchungen herangezogen (vgl. 6). Bluetooth Low Energy wird nur theoretisch betrachtet, da dieser Funkstandard während der Versuchsphase weder in Smartphones noch in medizinischen Sensoren verfügbar war. WLAN scheidet ebenso wegen mangelnder Verfügbarkeit an medizinischen Sensoren aus.

### 5.2.2.3. Schnittstelle zum COMES<sup>®</sup> Center

Die Messwerte werden nach der Messung vom medizinischen Sensor an das Smartphone übertragen. Damit diese nun dem Patienten sowie Arzt wieder zur Verfügung stehen, ist eine Übertragung an das COMES<sup>®</sup>-Center erforderlich. Dafür wird das Mobilfunknetz (GSM - Global System for Mobile Communication) mit der Möglichkeit der Datenübertragung genutzt. Es sei am Rande erwähnt, dass die Datenübertragung genauso über ein WLAN-Netzwerk erfolgen kann. Aber da COMES<sup>®</sup> auch unterwegs nutzbar sein soll und somit nicht ständig ein WLAN-Netzwerk verfügbar ist, wird an dieser Stelle das Mobilfunknetz kurz dargestellt.

GSM zählt zu den zellularen Mobilfunknetzen, das in einem Frequenzbereich von 900 MHz bis 1800 MHz betrieben wird. Der Aufbau des GSM-Netzes ist hierarchisch und sieht schematisch wie in Abbildung 5.6 aus.

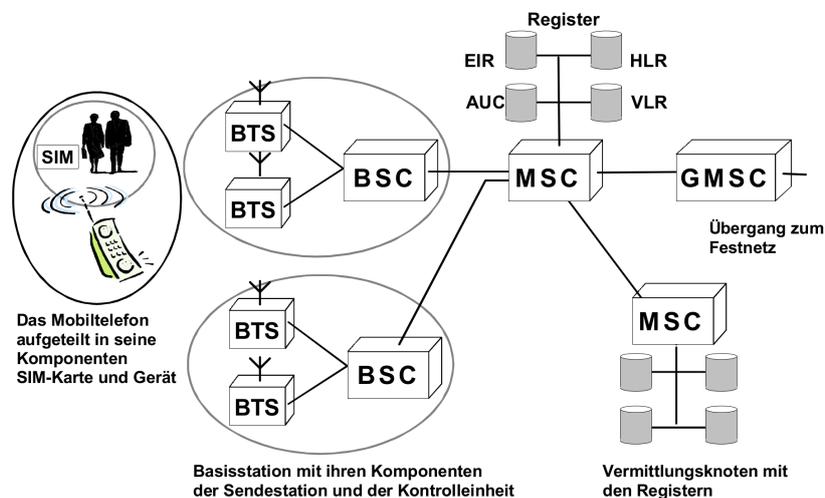


Abb. 5.6.: Darstellung des GSM-Netzes, entnommen aus [118].

In einem GSM-Netz wird zwischen Mobilfunkgerät und Nutzer unterschieden: der Nutzer wird durch das sogenannte SIM (Subscriber Identity Module) erkannt, wohingegen das

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

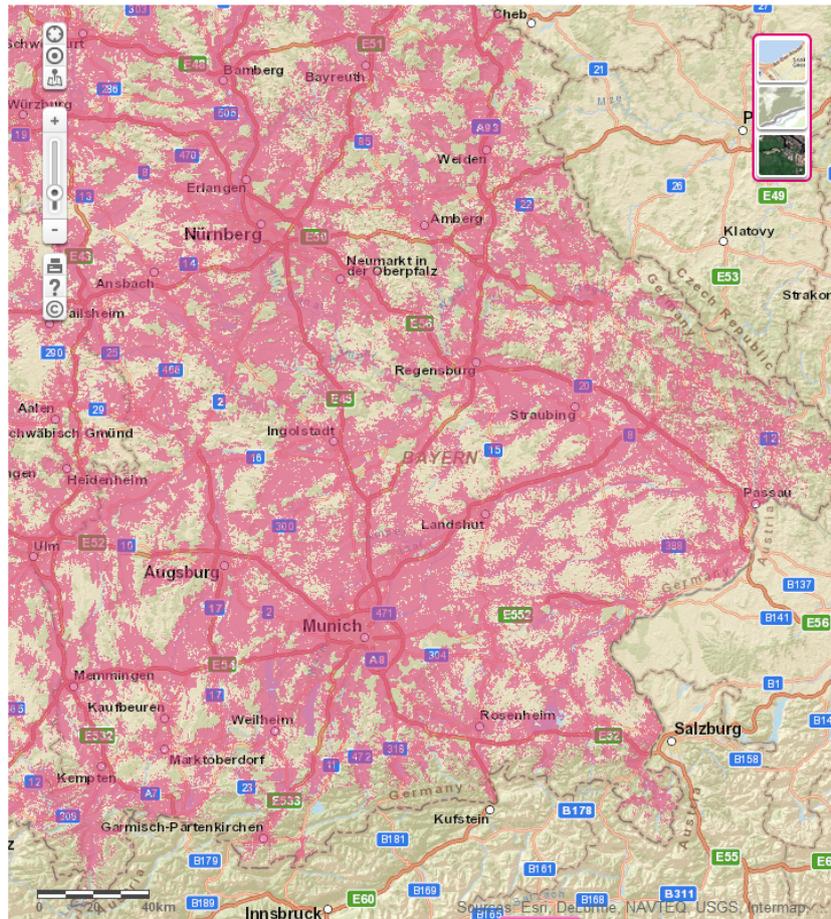
Mobilfunkgerät durch eine international eindeutige Seriennummer, der IMEI (International Mobile Equipment Identity) identifiziert wird. Auf der SIM-Karte ist die Kundennummer IMSI (International Mobile Subscriber Identity) gespeichert, die getrennt von der dem Nutzer zugewiesenen Telefonnummer (MSISDN - Mobile Station ISDN Number) betrachtet werden muss. Damit ist es möglich, dass man mit einer SIM-Karte verschiedene Mobilfunkgeräte nutzen kann. Die GSM-Basisstation, im Englischen Base Transceiving Station (BTS) genannt, ist die Schnittstelle zwischen Netzbetreiber und Mobiltelefon. Sie beinhaltet die Sende- und Empfangseinheit. Mehrere BTS werden von einer Base Station Control (BSC), der Kontrollstation, verwaltet. Die Basisstation wird ihrerseits über den Vermittlungsknoten, im Englischen Mobile Switching Center (MSC), gesteuert. Um die gewünschten Dienste erbringen zu können, werden die nötigen Daten, wie Kundennummer, aktueller Aufenthaltsort, Berechtigungen oder Gerätezulassungen in Register (EIR, HLR, AUC, VLR) gespeichert. Die Kommunikation zwischen Vermittlungsstellen untereinander und den Registern erfolgt meist leitungsgebunden. Es kann in GSM-Netzen zwischen funkgestützten Netzteilen und leitungsgebundenen vermittelnde Netzteile unterschieden werden. Beim Verbindungsaufbau meldet sich zunächst das Mobiltelefon bei der nächstgelegenen Basisstation beim Netzbetreiber an. Dort werden Identitätsdaten abgefragt und gespeichert. Zusätzlich wird jeder Verbindungsversuch protokolliert [118], [119].

In den letzten Jahren hat sich das GSM-Netz stetig weiterentwickelt. Dies war erforderlich, da sich die ursprünglichen Anforderungen der Übertragung von Telefongesprächen, Faxen und Datensendungen konstanter Datenrate um Datensendungen mit stark schwankenden Datenraten, wie beim Internet, erweitert haben. Zu den wichtigsten Weiterentwicklungen zählen GPRS, EDGE, UMTS und LTE. Diese unterscheiden sich - einfach gesagt - in der zur Verfügung stehenden Datenrate, stellen aber auch technologische Weiterentwicklungen dar. So wurde mit GPRS und EDGE das GSM-Netz um die Möglichkeit der Datenübertragung erweitert. Bei EDGE beträgt die Bandbreite 236kBit/s. Mit UMTS, das auch als dritte Mobilfunkgeneration oder 3G bezeichnet wird, werden Datenübertragungsraten bis zu 387kBit/s erreicht. Im Mobilfunksystem der vierten Generation, LTE, wurde die Netzarchitektur erneut überarbeitet. Mit LTE können bis zu 1GBit/s übertragen werden [118], [119].

Für den mobilen Einsatz von COMES<sup>®</sup> ist die Bandbreite des Mobilfunknetzes nur dahingehend interessant, wenn Motivationsvideos oder Musik für eine ergänzende nicht-medikamentöse Therapie am Smartphone abgespielt werden sollen oder das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend angezeigt werden soll. Für die reine Datenübertragung der Messwerte wird nur eine geringe Bandbreite benötigt. Viel entscheidender ist die zur Verfügung stehende Netzabdeckung des jeweiligen Mobilfunkanbieters. Abbildung 5.7 zeigt am Beispiel der Netzabdeckung der Deutschen Telekom mit 3G in Bayern ganz deutlich, dass vor allem in ländlichen Gebieten immer noch Lücken (nicht pink) bestehen. Das hat zur Folge, dass sich Menschen, die in diesen Gebieten wohnen, im besten Fall mit einer Datenübertragung von maximal 236kBit/s (EDGE) zufrieden geben müssen.

Damit die Messdaten nun allgemein über das Internet und im Speziellen über das Mobilfunknetz übertragen werden können, muss eine Schnittstelle zum COMES<sup>®</sup>-Web-Service

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.7.:** Netzabdeckung mit 3G der Telekom Deutschland GmbH für Bayern (pink = Netzabdeckung vorhanden) [120].

definiert werden. Dafür wird das Netzwerkprotokoll SOAP (Simple Object Access Protocol) verwendet. SOAP ist ein Protokoll, das sich der XML-Syntax bedient, um Textbefehle über das Internet auf Basis von HTTP (Hypertext Transfer Protocol) zu senden. Zunächst wird ein SOAP-Dienst über eine entsprechende Anfrage angefordert. Ein Web-Server nimmt diese Anfrage an und übergibt sie an einen sogenannten SOAP-Application-Server. Daraufhin wird der Anfragende überprüft und validiert. Schließlich kann die Anwendung die Nachricht interpretieren und den gewünschten SOAP-Dienst aufrufen [121], [122]. Eine Erklärung zur Verwendung von SOAP für COMES<sup>®</sup> sowie die Evaluation zur Auswahl des entsprechenden Web-Service-Protokolls erfolgt in Kapitel 5.3.3.

### 5.2.2.4. Schnittstelle zum Medizinischen Call Center

Medizinische Call Center können in Zukunft eine positive Ergänzung zum Hausarztbesuch darstellen. Bei Bedarf erhalten Patienten kompetente ärztliche Beratung rund um die Uhr. Um

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

diese Möglichkeit zu eröffnen, werden in COMES<sup>®</sup> alle notwendigen Schnittstellen integriert. An dieser Stelle wird die technische Realisierung jedoch nicht weiter ausgeführt.

### 5.2.2.5. Schnittstelle zu externen Datenbanken

In unserer Informationsgesellschaft werden eine Vielzahl an Daten generiert und gespeichert. Der Zugang zu diesen Daten ist aber zumeist dezentral. Vor allem im medizinischem Sektor existieren viele Insellösungen. Die Verwendung und Verwertbarkeit dieser Daten ist nur einem kleinen Kreis möglich. Dabei steckt, wie bereits einleitend erwähnt, so viel Potenzial in der Nutzung dieser Daten, vorausgesetzt die Anonymisierung dieser Daten wird gewährleistet. Der Mehrwert ist unbeschreiblich. Die Plattform COMES<sup>®</sup> hat sich externen Datenbanken geöffnet und bietet ihnen eine Schnittstelle an.

Der Datenaustausch erfolgt über die Schnittstelle SOAP. Darin stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, wodurch Daten von anderen Teilnehmern bezogen, aber auch an andere Teilnehmer übertragen werden können. Eine ausführliche Beschreibung zu SOAP und den einzelnen Methoden ist in Kapitel 5.3.3 nachzulesen.

## 5.3. COMES<sup>®</sup>-Backend

Viele Dienste in COMES<sup>®</sup>, wie bspw. das Anzeigen von Messwerten, werden von einem sogenannten Client angefragt und zentral an einem Server verarbeitet. Es werden also Dienste angefordert und erbracht. Dieses Konzept wird als Client/Server-Architektur bezeichnet [123]. Das im Folgenden zu betrachtende Backend ist ein Teil dieser Client/Server-Architektur. Es liegt näher am System und somit teilnehmerfern [124]. Das Backend selbst besteht aus verschiedenen Servern, wie dem SQL-Server, dem Web-Server u.v.m. Dieses interne Netzwerk wird durch eine Firewall nach außen hin geschützt. Eine Firewall ist eine „Hard- oder Software, die zwischen Rechner oder lokale Netzwerke und öffentliche Netze geschaltet wird, um den Zugriff auf Rechner von außen durch unbefugte Dritte zu verhindern und so interne Daten zu schützen“ [125].

Im Folgenden wird dieses Gebilde aus Backend und Firewall näher beschrieben. Der Einfachheit halber wird dies als COMES<sup>®</sup>-Backend bezeichnet.

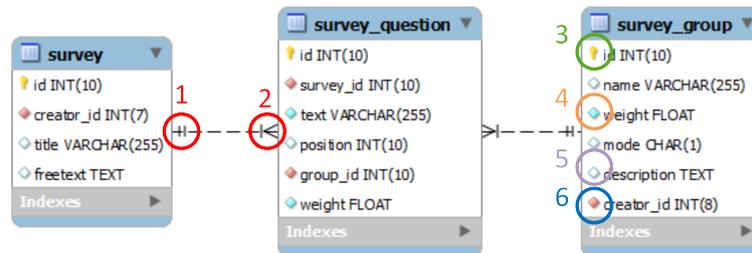
### 5.3.1. Datenbankstruktur

Eines der Kernelemente des telemedizinischen Assistenzsystems COMES<sup>®</sup> ist die Datenbank. Wie bereits im Kapitel 3 ausführlich behandelt, existieren verschiedene Arten von Datenbankstrukturen. Für COMES<sup>®</sup> wird auf die ausgereifte relationale Datenbank zurückgegriffen.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Derzeit besteht die COMES<sup>®</sup>-Datenbank aus 47 Tabellen. Im folgenden werden diese thematisch in Nutzerverwaltung, Geräteverwaltung, Patientenwerte, Nachrichten, Umfragen und Hilfstabellen für Data Mining unterteilt kurz erläutert. Eine Abbildung der gesamten COMES<sup>®</sup>-Datenbankstruktur findet sich im Anhang A dieser Arbeit.

Zur besseren Lesbarkeit für nachfolgende Abbildungen sind angeführte Punkte unter Zuhilfenahme der Abbildung 5.8 zu beachten:



**Abb. 5.8.:** Darstellung zur Erklärung der Abbildungen für die Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank

- 1 und 2 bezeichnen eine 1:n-Verbindung zwischen zwei Tabellen, wobei 1 als „1“ und 2 als „n“ zu lesen sind.
- 3 symbolisiert, dass es sich hierbei um einen sogenannten „primary key“ handelt.
- Die türkise Raute in 4 gibt an, dass eine einfache Variable vorliegt.
- Ist, wie in 5, innerhalb der Raute keine türkise Füllung zu sehen, so ist für Eintragungen in diese Spalte der Standardwert „Null“ gesetzt.
- Die rot gefüllte Raute in 6 symbolisiert, dass in dieser Spalte die Beziehung, bspw. 1:n-Beziehung, zu einer anderen Tabelle eingetragen wird.
- Hinter den Spaltennamen ist jeweils der Datentyp sowie dessen maximale Größe angegeben.
- Beziehungen zu Tabellen, die in der Abbildung nicht angezeigt werden, sind nur den Spaltennamen innerhalb der Tabelle ablesbar.

### Nutzerverwaltung

Innerhalb der Nutzerverwaltung werden Organisationen, Nutzer und Patienten sowie deren Beziehungen verwaltet. Des Weiteren dienen diverse Log-Dateien zum Protokollieren von Datenbankbewegungen. Abbildung 5.9 zeigt die einzelnen Tabellen.

In der Tabelle *user* werden die einzelnen Nutzer des Systems eingetragen. Deren Rechte befinden sich in der Tabelle *privilege*. Vorgegebene Gruppenrechte können über die Tabelle

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

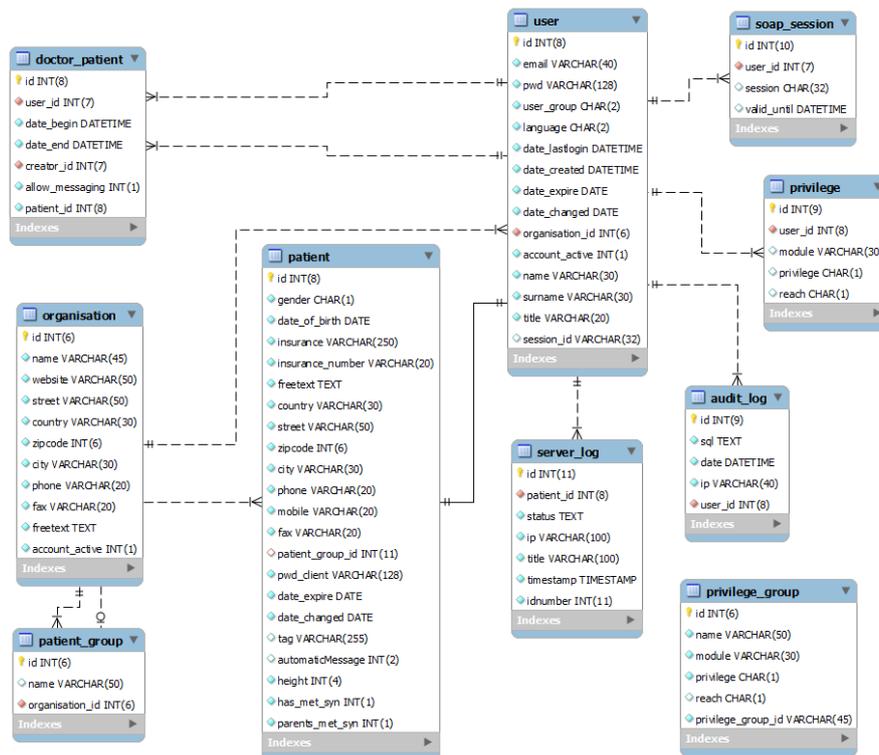


Abb. 5.9.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank für die Nutzerverwaltung

*privilege\_group* erfasst werden. Handelt es sich um Patienten, so werden diese zusätzlich mit weiteren Attributen in die Tabelle *patient* eingetragen. Es handelt sich hierbei um eine 1:1-Beziehung. Jeder Nutzer ist Mitglied einer Organisation, die in der Tabelle *organisation* hinterlegt ist. Die Tabelle *patient\_group* beinhaltet die Namen von verschiedenen Patientengruppen, wie beispielsweise Hypertoniker oder Versuchsgruppe Bewegung. Die Beziehungen zwischen Patienten und Ärzten sind in der Tabelle *doctor\_patient* hinterlegt. Ruft ein Patient Informationen von einem anderen Server ab, wie beispielsweise Musikstücke von einem Streaming-Server im Rahmen einer Musiktherapie, so stehen die entsprechenden Informationen in der Tabelle *server\_log*. Datenbank-Updates, Hinzufügen oder Löschen von Zeilen in den Tabellen werden in die Tabelle *audit\_log* eingetragen. Schließlich dokumentiert die Tabelle *soap\_session* die aktuelle Sitzungs-ID (session-id) der angemeldeten Nutzer.

### Geräteverwaltung

Die Geräteverwaltung dient zum Organisieren der in COMES<sup>®</sup> verwendeten Geräte. In Abbildung 5.10 sind die dafür notwendigen Tabellen aufgelistet.

Jeder Patient besitzt einen Messkoffer, der mit verschiedenen Geräten bestückt ist. Der Messkoffer ist in der Tabelle *measurmentkit* hinterlegt, die Beziehung zwischen dem Patienten und dem Messkoffer in der Tabelle *kit\_pat* und die Beziehung zwischen Messkoffer und Organisation in der Tabelle *kit\_org*. Die einzelnen Geräte sind in der Tabelle *device* zu

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

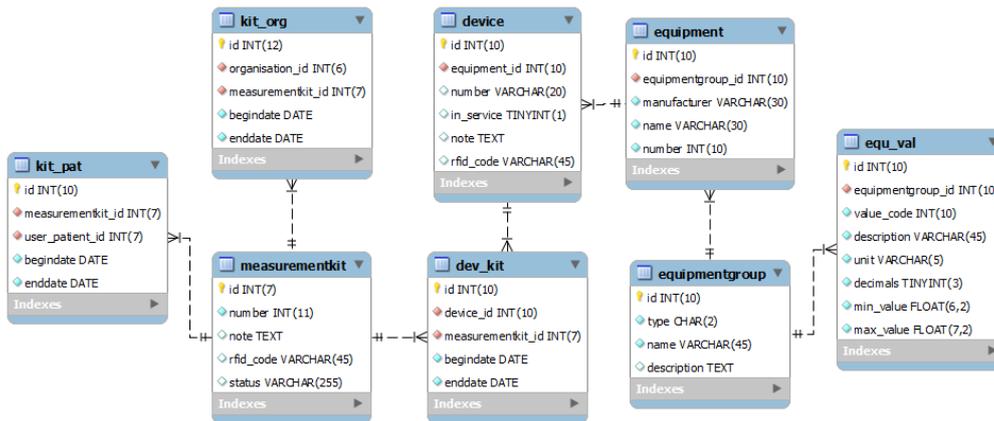


Abb. 5.10.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank für die Geräteverwaltung

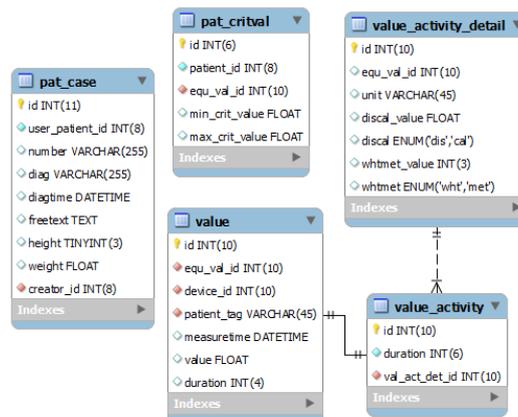


Abb. 5.11.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank zum Hinterlegen von Messwerten des Patienten

finden, deren Beziehung zum Messkoffer in der Tabelle *dev\_kit*. Jedes Gerät wird über die Gerätegruppe aus der Tabelle *equipmentgroup*, das Gerät an sich aus der Tabelle *equipment* sowie Angaben zu den Messwert aus der Tabelle *equ\_val* bestimmt.

### Patientenwerte

Die für den Patienten wichtigen Werte bestehen nicht nur aus den Messwerten, sondern auch aus den individuellen Grenzvorgaben, dem Patientenfall und den Empfehlungen. Abbildung 5.11 veranschaulicht die entsprechenden Tabellen.

Die an die COMES<sup>®</sup>-Datenbank übertragenen Messwerte werden in der Tabelle *value* gespeichert. Handelt es sich um Aktivitätswerte so werden zusätzliche Argumente in die Tabellen *value\_activity* und *value\_activity\_detail* gespeichert. Kritische, patientenbezogene Werte sind in der Tabelle *pat\_critval* hinterlegt. Die Fallakte des Patienten ist in der Tabelle *pat\_case* zu finden.

## Nachrichten

Mit Hilfe von Nachrichten können dem Patienten Informationen und Motivationen mitgeteilt werden. Des Weiteren ist damit auch ein Austausch zwischen Arzt und Patient möglich. Die entsprechenden Tabellen sind in Abbildung 5.12 gezeigt.

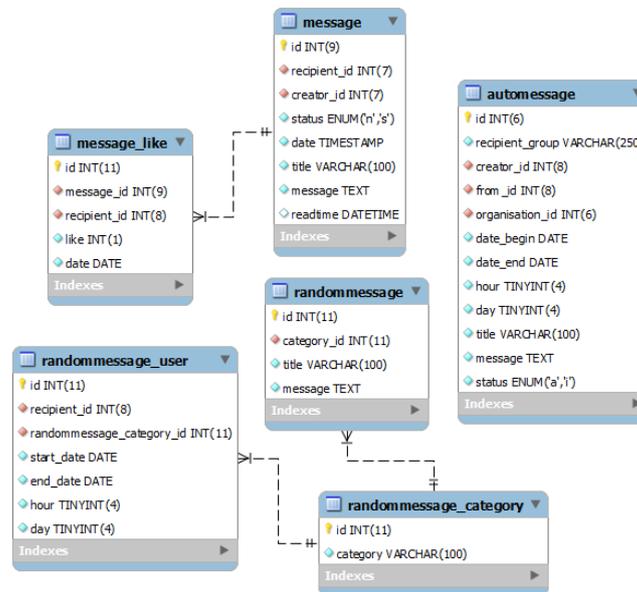


Abb. 5.12.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank zum Erstellen und Verwalten von Nachrichten

Die einzelne Nachricht wird in die Tabelle *message* eingetragen. Nachrichten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. wiederkehrend ausgeführt werden sollen, finden sich in der Tabelle *automessage*, ehe sie nach dem Versand in die Tabelle *message* eingetragen werden. Um eine Vielzahl von Nachrichten zu hinterlegen, die einer bestimmten Kategorie, wie z.B. Bewegungsmotivation, zugeschrieben sind, werden die Tabellen *randommessage\_category* für die Kategorie, *randommessage* für die entsprechende Nachricht und *randommessage\_user* für den Ausführungszeitpunkt bzw. den Adressaten benötigt. Danach wird aus diesen Nachrichten zufällig eine ausgewählt und dem entsprechenden Nutzer geschickt, indem die Nachricht in die Tabelle *message* eingetragen wird.

## Umfragen

In COMES<sup>®</sup> ist es möglich, komplette Umfragen zu erstellen, zu verteilen und auszuwerten. Abbildung 5.13 spiegelt die dafür notwendigen Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank wider.

Umfragen bestehen neben der eigentlichen Umfrage, die in der Tabelle *survey* aufgelistet ist, aus Fragen aus Tabelle *survey\_question* und Antworten aus Tabelle *survey\_answer*. Sowohl Fragen als auch Antworten können gruppiert und entsprechend gewichtet werden. Dies erfolgt in Tabelle *survey\_group* bzw. die Auflistung der einzelnen Antworten in Tabelle

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

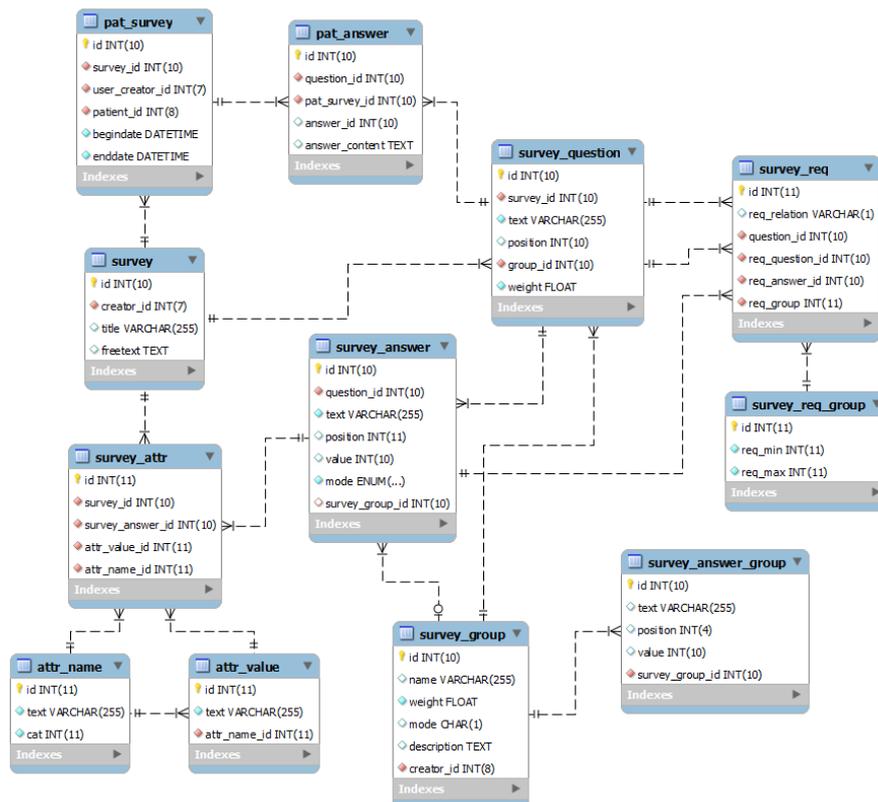


Abb. 5.13.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank zum Erstellen und Verwalten von Umfragen

*survey\_answer\_group*. Um Abhängigkeiten zwischen Fragen zu realisieren, beispielsweise soll Frage B nur dann gezeigt werden, wenn Frage A mit Antwort C beantwortet wurde, werden Attributnamen in Tabelle *attr\_name*, Attributswerte in Tabelle *attr\_value* und die Verknüpfung zwischen Umfrage, Antwort, Attributname und -werte in Tabelle *survey\_attr* benötigt. Des Weiteren werden die Abhängigkeiten in der Tabelle *survey\_req* und zur Gruppenbildung in die Tabelle *survey\_req\_group* hinterlegt. Die abgegebenen Antworten des Umfrageempfängers werden in die Tabelle *pat\_answer* gespeichert, während die Zuweisung, wann wer welche Umfrage erhält, in Tabelle *pat\_survey* eingetragen ist.

### Hilfstabellen für Data Mining

Da in COMES<sup>®</sup> Data Mining-Algorithmen eingesetzt werden, bedarf es einiger Hilfstabellen. Diese sind in Abbildung 5.14 dargestellt.

Die Tabelle *windowed\_dew* bietet Platz für neun mal zehn Werten und die entsprechende Differenz dazu. Ebenso verhält es sich mit der Tabelle *windowed\_temp*. Diese sind notwendig, um automatisch Empfehlungen generieren zu können. Dazu bedarf es ferner die Tabellen *windowed\_dw\_inserted* und *steps\_dw*. In zuletzt genannter werden messspezifische Parameter sowie die entsprechende Empfehlungs-ID angegeben. Die einzelnen Empfehlun-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

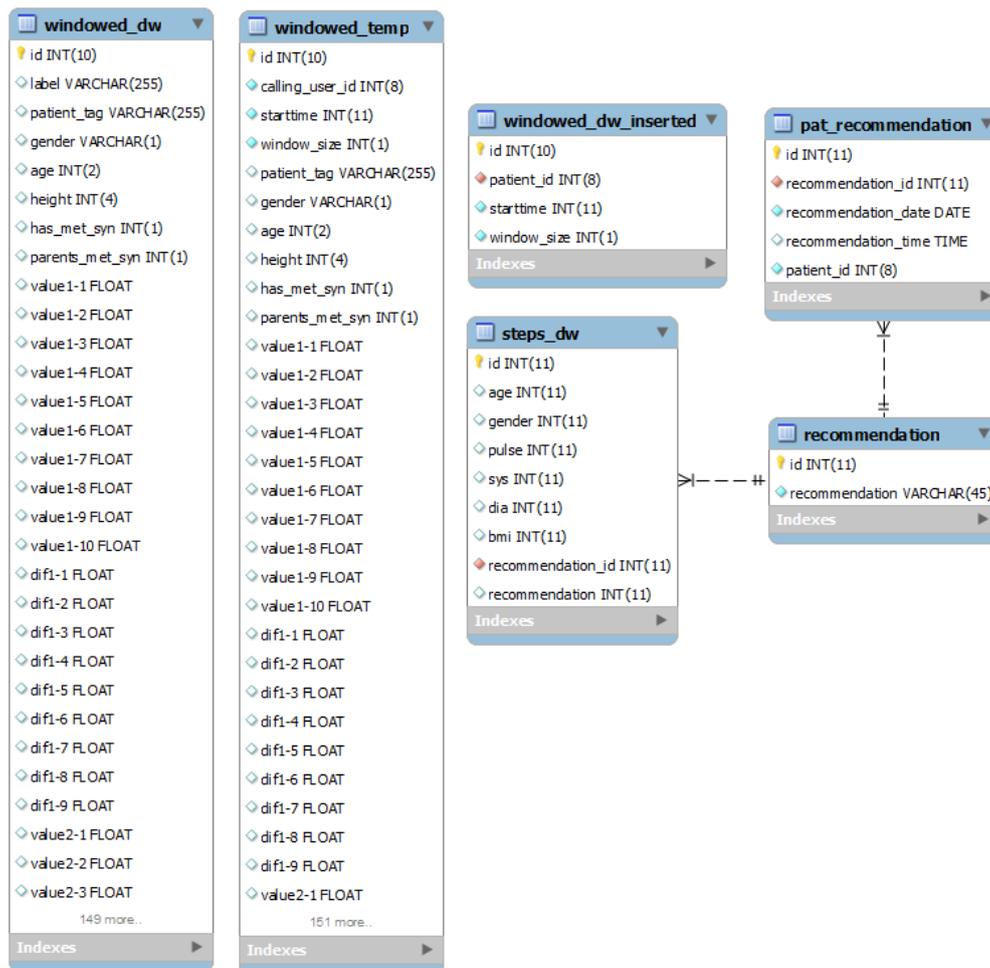


Abb. 5.14.: Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank als Hilfstabellen für Data Mining

gen sind in der Tabelle *recommendation* und die Zuweisung zum Patienten in die Tabelle *pat\_recommendation* eingetragen.

### 5.3.2. Technologien eines Webauftritts

Für die in den folgenden Kapiteln aufgezeigte Darstellung der Benutzerschnittstellen erfolgt zunächst eine Beschreibung der verwendeten Sprachen und der Entwicklungsumgebung. Diese orientiert sich an den Ausführungen in der Masterarbeit [126]. Bei einer modernen Webpräsenz finden die Auszeichnungssprache HTML, die Formatierungssprache CSS und die Skriptsprachen wie z.B. PHP oder JavaScript vielfach Verwendung. Dabei wird jeder dieser Sprachen eine bestimmte Funktionalität zugesprochen.

### 5.3.2.1. HTML

Die *HyperText Markup Language* ist eine beschreibende Sprache zur Strukturierung der Website. Damit interpretiert der Webbrowser, wie bestimmte Inhalte angezeigt werden. Es können aber auch Grafiken und multimediale Inhalte eingebunden werden. Außerdem bietet es die Möglichkeit, Überschriften, Textabsätze, Listen und Tabellen zu erzeugen und Formulare zu integrieren. Jedoch stößt HTML sehr schnell an seine Grenzen, wenn es darum geht, die Website mit einem ansprechenden Design zu versehen. Hierfür wird HTML mit Formatierungssprachen wie CSS erweitert. Als Standardisierungsgremium hat sich das World Wide Web Consortium (W3C) etabliert. Seine Aufgabe ist es, HTML von Fehlern bzw. Eigenheiten der Anfangsjahre zu bereinigen und einen weltweit gültigen Standard zu etablieren [127].



Abb. 5.15.: Grundaufbau eines HTML-Quellcodes [128]

Der Aufbau einer HTML-Seite wird in die Bereiche DOCTYPE, HEAD und BODY untergliedert. Dieser ist in der Abbildung 5.15 dargestellt. Die Befehle in HTML werden als „Tags“ bezeichnet. Diese bestehen aus einem Wortelement, das mit „<“ und „>“ umrahmt ist. Die erste Zeile enthält das DOCTYPE, welches dem Internet-Browser mitteilt, welche Befehle zu erwarten sind und welcher Standard bei der Erstellung gewählt wurde.

Der HEAD-Bereich umfasst die Metainformationen, die von Suchmaschinen genutzt werden. Im Bereich BODY befindet sich der eigentliche Inhalt bzw. der Quellcode der Seite, der vom Benutzer als Webseite gesehen wird [128], [129]. Für die Erklärung der einzelnen Tags gibt es eine Vielzahl an Literatur und Hilfestellungen. An dieser Stelle sei die Webseite des Vereins SELFHTML e.V. angemerkt, die eine gute Übersicht über HTML, CSS und JavaScript bietet [130].

### 5.3.2.2. CSS

Mit HTML werden der Aufbau und die Struktur von Webseiten erzeugt, doch wurde es nicht für die Umsetzung eines ansprechenden Designs konzipiert. Dafür existiert das Casca-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

ding Style Sheet, kurz CSS, welches durch das Referenzieren zu einzelnen HTML-Tags die Formatierung bestimmt. Die entsprechenden Stilelemente werden in einer separaten Datei gespeichert und anschließend im Head-Bereich des HTML-Dokumentes mit Hilfe des link-Tags eingebunden. Damit ist man bspw. in der Lage, das Aussehen von Textelementen global zu definieren oder das gesamte Erscheinungsbild seinen Vorstellungen entsprechend anzupassen. Im Code-Ausschnitt auf Abbildung 5.16 wird gezeigt, wie einer Überschrift erster Ordnung „h1“, die im HTML-Dokument mit <h1> Tags gekennzeichnet ist, eine bestimmte Schriftfamilie und Schriftgröße sowie eine blassgrüne Schriftfarbe und mehr zugewiesen wird.

```
h1 {
  margin: 0px;
  padding: 0px;
  font-family: Verdana, Arial, Helvetic
  font-weight: bolder;
  font-size: 1.2em;
  color:#87c74f;
}

h2 {
  margin: 0px;
  padding: 0px;
  font-family: Verdana, Arial, Helvetic
```

**Abb. 5.16.:** *Formatierung einer Webseite über eine CSS-Datei [131]*

Somit kann die Gestaltung der in HTML vordefinierten Texte und Felder ausgegliedert werden, was wiederum die Antwortzeiten von Webseiten verkürzt. Mit Hilfe des CSS ist es möglich, eine einheitliche Darstellungsweise für die gesamte Webseite zu erzeugen [132].

### 5.3.2.3. PHP

Die Sprache HTML ist sehr statisch. Für die dynamischen Komponenten werden daher Skriptsprachen wie PHP oder JavaScript verwendet. PHP ist ein Akronym für „PHP: Hypertext Preprocessor“ (ursprünglich „Personal Home Page Tools“) und zählt zu den interpretativen Skriptsprachen; das bedeutet, dass der Code nicht in Maschinencode übersetzt, sondern zur Laufzeit von einem sog. Interpreter ausgeführt wird. Aufgrund der sich daraus ergebenden vielfältigen Möglichkeiten, der gut verständlichen Syntax, sowie einer plattformunabhängigen Funktionsweise macht sich PHP zur idealen Sprache für effiziente Webentwicklungen, sogar bei komplexeren Systemen. Ursprünglich war diese Sprache als Hilfsmittel zur Verarbeitung von HTML-Formularen und Erzeugung von Webseiten konzipiert worden, doch ist sie mittlerweile als eigenständige Computersprache zu sehen. Weiterhin kann man PHP als polyglott bezeichnen, was nichts anderes bedeutet, als dass sie mit einer Vielzahl von Datenbanken kommunizieren kann und mit diversen Internetprotokollen kompatibel ist. Oft wird PHP auch als serverseitig benannt. Dies liegt darin begründet, dass üblicherweise der PHP-Code in den

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

HTML-Code eingebettet und vom Webserver interpretiert wird [133].

In Abbildung 5.17 wird der schematische Ablauf des Verarbeitungsprozesses einer PHP-Datei verdeutlicht.

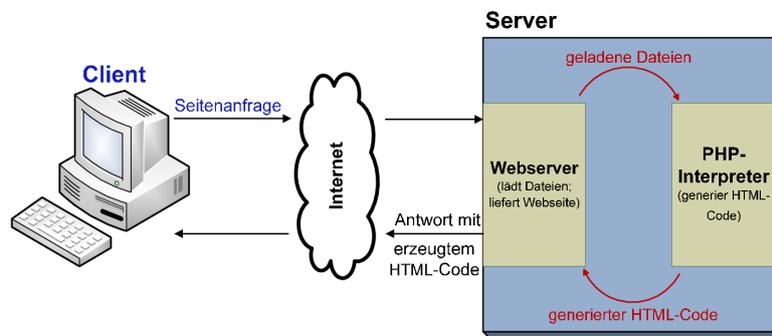


Abb. 5.17.: Funktionsweise von PHP, schematisch dargestellt [134]

Der Computer des Kunden, im Fachjargon Client genannt, stellt eine Anfrage via Internet an den Webserver. Der Server lädt daraufhin die angeforderte Datei und übergibt sie dem PHP-Interpreter, der aus dieser Datei den HTML-Code generiert. Der erhaltene HTML-Code wird an den Client zurückgesendet und erscheint als Webseite im Internetbrowser.

### 5.3.2.4. JavaScript

JavaScript zählt zu den objektorientierten Skriptsprachen, welches ähnlich wie PHP erweiterte Funktionalitäten und damit mehr Dynamik in den ansonsten statischen Webseiten zur Verfügung stellen soll. Dies erfolgt ohne Neuladen der Website. Aber nicht nur für Websites wird JavaScript verwendet, sondern auch auf Servern und Microcontrollern [135].

Mit JavaScript-Methoden ist es möglich, das sogenannte DOM (Document Object Model) und dessen Objekte zu manipulieren. Eine Voraussetzung dafür ist die strenge Objekthierarchie. Das DOM ist eine plattform- und sprachenunabhängige Schnittstelle, die Programmen und Skripten den dynamischen Zugriff mit Aktualisierung des Inhalts, aber auch die Erstellung von Struktur und Stil des Dokuments ermöglicht. Das Dokument kann weiterhin abgearbeitet werden und dessen Ergebnisse erscheinen anschließend auf der aktuellen Webseite. Diese strenge Hierarchie ist in Abbildung 5.18 zu sehen. Es zeigt schematisch die Verwandtschaftsverhältnisse [136], [135].

JavaScript erweist sich weitestgehend plattformunabhängig, jedoch ist die Umsetzung bei den einzelnen Browserherstellern unterschiedlich, was sich bspw. im Design bemerkbar macht. Eine Standardisierung mit dem Namen ECMA -262 wurde durchgeführt und existiert derzeit

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

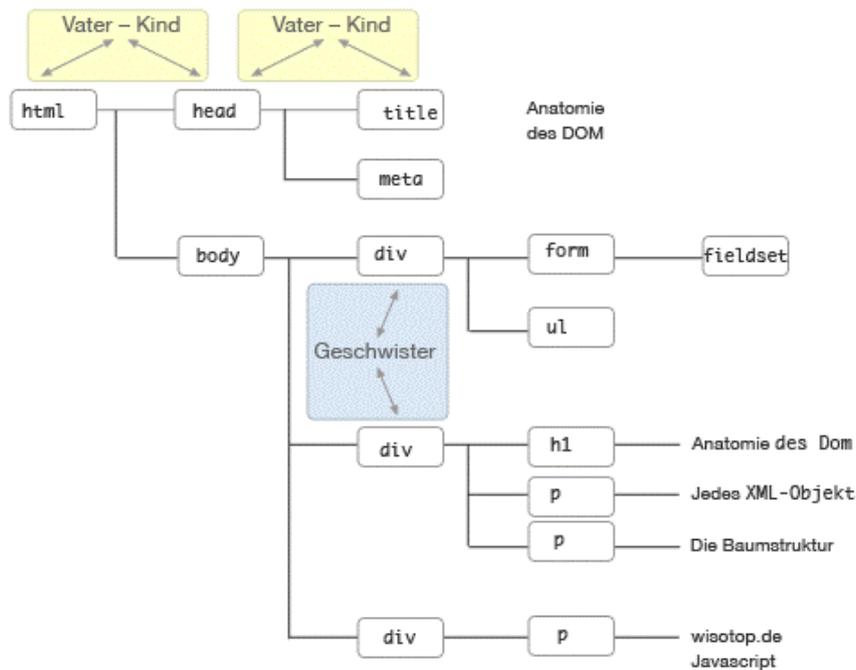


Abb. 5.18.: DOM-Funktionen am Beispiel der Verwandtschaftsverhältnisse [137]

in Version 5. Es ist aber weiterhin nötig, die einzelnen JavaScripte bei den verschiedenen Browserherstellern und Browserversionen zu testen und gegebenenfalls Ausweichlösungen zu schaffen [135].

Für die Programmierung von Webseiten stellt JavaScript eine sehr gute Möglichkeit dar, interaktiv und dynamisch auf Benutzereingaben zu reagieren, sei es bei der Menügestaltung oder der Weiterverarbeitung von Formulardaten. Vor allem bei letztgenanntem bedarf es aber zusätzlicher Technologien, um Sicherheitsaspekte zu beachten und das „Nachladen“ von Daten auf dem Server zu gewährleisten. Dies erfolgt mittels Ajax, was für „Asynchronous JavaScript and XML“ steht. Ajax ist im engeren Sinne keine eigene Technologie, sondern verknüpft unterschiedliche bereits bestehende Technologien und Sprachen, wie HTML, JavaScript, DHTML, DOM und XML. Diese wirken derart zusammen, dass sie den Anwender in die Lage versetzen, Teile einer Webseite asynchron nachzuladen. Dies erfolgt ohne Neuladen der Seite, obschon ein Datenaustausch zwischen Browser und Web-Server stattfindet. In Abbildung 5.19 ist dieses Verhalten nachgestellt [135], [138].

### 5.3.2.5. Zend Framework

Aufgrund der Vielfalt und Mächtigkeit des Projektes COMES<sup>®</sup> bedarf es einer großen Webseite, damit alle Funktionalitäten dynamisch durch einen autorisierten Benutzer abgerufen und bearbeitet werden können. Mit PHP als Sprache für dynamische Webseiten wird das Zend

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

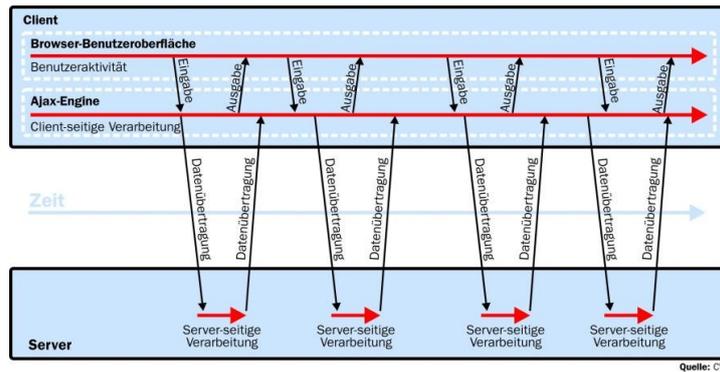


Abb. 5.19.: AJAX: asynchrone Datenübertragung [139]

Framework (ZF), Version 1.12, verwendet. Ein Framework stellt für den Programmierer ein Software-Architekturmuster dar, welches als Grundgerüst für Ordnung, Vereinfachung und problemlose Erweiterbarkeit sorgen soll. Des Weiteren sind Veränderungen im bestehenden Code oder die Wiederverwendung von Code-Bestandteilen leichter umzusetzen. Mit dem ZF sollte sichergestellt werden, dass PHP basierende Webseiten auf lange Sicht einfach erstellt und zuverlässig gewartet werden können [140]. Dabei baut ZF auf das Architekturmuster MVC-System (Model-View-Controller) auf. Abbildung 5.20 zeigt den Aufbau dieses sogenannten Designpattern.

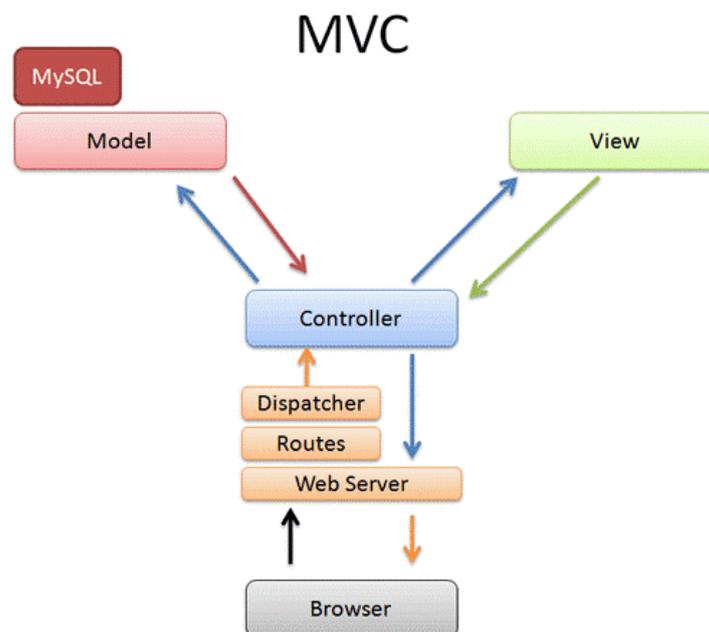
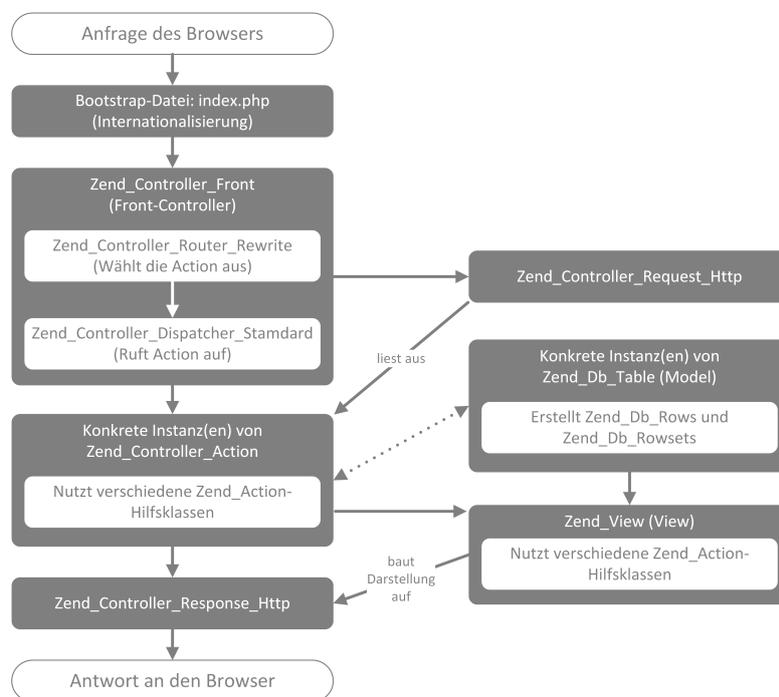


Abb. 5.20.: MVC-System als schematisches Modell [141]

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Mittels MVC wird eine logische Trennung zwischen Modell (Model), Darstellung (View) und Steuerung (Controller) vorgegeben. Das Model beinhaltet die gesamte Geschäftslogik, führt also Berechnungen durch, gibt Voraussetzungen an und erledigt den Datenaustausch mit einer Datenbank. Das View regelt die Anzeigenlogik. Bei Web-Applikationen ist dies normalerweise der HTML-Code. Der Controller schließlich entscheidet, wie auf Benutzereingaben reagiert wird, und verwaltet die Views [140].

Das Zend Framework baut auf das MVC-Designpattern auf. Dies spiegelt sich schon in der Ordnerstruktur wieder. Es wird klar zwischen Controllern, Models, und Views unterschieden. Zusätzlich werden Formulare im Ordner Forms und Hilfsklassen im Ordner Helper integriert. Abbildung 5.21 zeigt den Arbeits- bzw. Informationsfluss von der Abfrage bis zur Antwort des Browsers. Daraus geht eindeutig hervor, wie die einzelnen Bereiche des MVC-Systems ihre Aufgaben erledigen.



**Abb. 5.21.:** *Interaktion der verschiedenen Zend Framework-Klassen in einer MVC-Applikation, entnommen aus [140]*

### 5.3.3. Web-Service

Im telemedizinischen Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> werden die selbst erhobenen Messwerte an eine Datenbank übertragen. Wie bereits in den vorangegangenen Kapitel beschrieben, erfolgt dies über das Internet. Server-seitig wird eine Schnittstelle zu Anwendungsfunktionen von

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

COMES<sup>®</sup> bereitgestellt. Dies ist nötig, damit Daten wie Nachrichten aus der COMES<sup>®</sup>-Datenbank gelesen oder bspw. Messwerte in die COMES<sup>®</sup>-Datenbank geschrieben werden können. Es werden also nur wenige, notwendige Funktionen bereit gestellt, die eine Interaktion mit der COMES<sup>®</sup>-Datenbank ermöglichen. Bei einer derartigen Architektur spricht man von einem Web-Service. Ein Web-Service ist eine Schnittstelle, die sich zwischen Anwendungsprogramm und dem Anwender dieses Programms befindet. Die Schnittstelle ist als Abstraktionsschicht zu verstehen, die eine plattform- und sprachenunabhängige Kommunikation erlaubt [142].

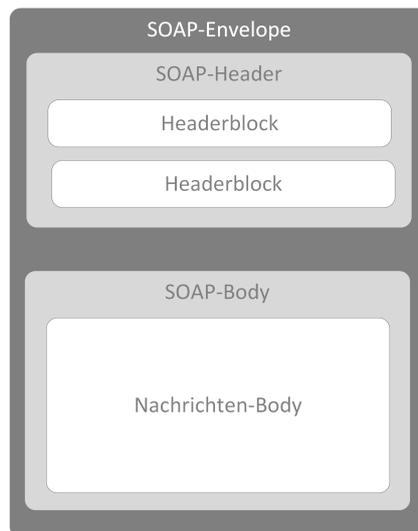
Die Architektur eines Web-Service besteht aus folgenden fünf aufeinander aufbauenden Schichten, sogenannten Staples:

- Entdeckung
- Beschreibung
- Verpackung
- Transport
- Netzwerk

Damit ist der Web-Service modular aufgebaut und garantiert gute Anpassungsfähigkeit bei sich schnell weiterentwickelnden Standards. Die *Entdeckungs*-Schicht beinhaltet Mechanismen, mit denen die Provider-Beschreibung bereitgestellt wird. Mit Hilfe der *Beschreibung* werden dem Anwender die verwendeten Protokolle für Netzwerk, Transport und Verpackung mitgeteilt. Als De-facto-Standard hat sich hierfür die Web Service Description Language (WSDL) etabliert. Für eine erfolgreiche Versendung der Daten, müssen diese in ein für alle Teilnehmer verständliches Format gepackt werden. Dazu zählen akzeptierte Datentypen, Codierung von Werten, etc. Für diese *Verpackung* stellt SOAP ein weit verbreitetes XML-basiertes Format dar. Mit Hilfe der *Transportschicht* wird auf Grundlage verschiedener Techniken samt Protokolle wie TCP und HTTP die Kommunikation zwischen Anwendungen ermöglicht. Die Netzwerkschicht stellt die wesentlichen Basisfähigkeiten für Kommunikation, Adressierung und Routing zur Verfügung [142].

Das bereits mehrfach erwähnte Simple Object Access Protocol (SOAP) ist ein standardisiertes Verpackungsprotokoll für Nachrichten und findet innerhalb dieser Arbeit Verwendung. Die Spezifikation definiert einen XML-basierten Rahmen, auch Envelope genannt, zur Übertragung von Nachrichten sowie Regeln, wie anwendungs- und plattformspzifische Datentypen in ein XML-Format umgesetzt werden müssen. Dadurch ist SOAP für eine Vielzahl von Anwendungen nutzbar. Abbildung 5.22 zeigt den typischen Aufbau einer SOAP-Nachricht. Das Envelope umgibt die Nachricht und enthält eine Deklaration von Namensräumen, die die XML-Syntax beschreiben. Innerhalb des Envelope kann optional ein Header eingefügt werden. Dieser beinhaltet Informationsblöcke, die die Art der Nachrichtenverarbeitung angeben. Dazu zählen Routing-Angaben und Authentifizierungsaussagen. Zwingend erforderlich ist hingegen

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.22.:** Die SOAP-Nachrichtenstruktur, entnommen aus [142]

genau ein Body. Dieser enthält die eigentliche Nachricht [142].

Für die Beschreibungs-Schicht wird eine WSDL-Datei verwendet. Sie ist eine XML-basierte Metasprache, womit vom Web-Service angebotene Daten, Datentypen und Funktionen beschrieben werden können. Metasprachen sind beschreibende Sprachen. Sie dienen zur Beschreibung, Erklärung und Definition anderer Sprachen, Protokolle und Objekte. Die Aufgabe der WSDL ist es, eine Beschreibung, wie Methoden, Parameter, Rückgaben u.v.m. aufgebaut sind und welchen Typs diese sind, zu liefern. Eine WSDL-Datei wird in drei Hauptelemente untergliedert:

- Definition der Datentypen
- Abstrakte Operationen
- Dienstbindung

Die Definition der Datentypen bestimmt die Struktur und den Inhalt der Nachrichten, wohingegen die abstrakten Operationen Operationen auf diese Nachrichteninhalte bestimmen. Die Dienstbindung gibt schließlich den Netzwerktransport an. Für Services werden typischerweise sechs XML-Hauptelemente, sog. Beschreibungselemente, definiert: die abstrakten Definitionen Datentypen (types), Nachrichten (message) und Porttypen (portType) sowie die konkreten Definitionen Bindung (binding), Port (port) und Dienst (service) [143], [144].

Nachfolgend werden diese Beschreibungselemente in Anlehnung an [144] erläutert und deren Verwendung in der WSDL für COMES<sup>®</sup> aufgezeigt.

## Datentypen

Die Definition der *Datentypen* erfolgt gemäß der Spezifikation des XML-Schemas und kann aus einfachen oder komplexen Datentypen bestehen. Der Code-Abschnitt 5.3.1 zeigt einerseits die sogenannten Credentials, die aus den komplexen Datentypen Nutzernamen und Passwort bestehen. Andererseits ist der einfache Datentyp SessionId aufgelistet.

Das Element *documentation* kann jederzeit eingesetzt werden. Damit können Kommentare und Erklärungen zu den einzelnen Elementen zur besseren Lesbarkeit angegeben werden.

```

1 <xsd:element name="Credentials">
2   <xsd:complexType>
3     <xsd:all>
4       <xsd:element name="username" type="xsd:string" />
5       <xsd:element name="password" type="xsd:string" />
6     </xsd:all>
7   </xsd:complexType>
8 </xsd:element>
9 <xsd:simpleType name="SessionId">
10  <xsd:annotation>
11    <xsd:documentation>
12      SessionId is valid half an hour after calling authenticate
13      method
14    </xsd:documentation>
15  </xsd:annotation>
16  <xsd:restriction base="xsd:string" />
</xsd:simpleType>

```

Code-Abschnitt 5.3.1: COMES<sup>®</sup>-WSDL: Service-Tag

## Nachrichten

In diesem Abschnitt werden die Nachrichten definiert, die zwischen Anfrage- und Antwortpunkten ausgetauscht werden. Der Code-Ausschnitt 5.3.2 zeigt die Anfrage und die Antwort für die Authentifizierung in COMES<sup>®</sup> auf. Die Kombination aus Anfrage und Antwort ist für alle Nachrichten bindend.

```

1 <message name="authenticateRequest">
2   <part name="parameters" element="tns:Credentials"/>
3 </message>
4 <message name="authenticateResponse">
5   <part name="parameters" element="tns:Session"/>
6 </message>

```

Code-Abschnitt 5.3.2: COMES<sup>®</sup>-WSDL: Message-Tag**Porttypen**

Der Webservice kommuniziert mit dem Client über bestimmte Schnittstellen. Diese werden mittels der einzelnen Porttypen definiert. Die Kommunikation kann dabei in eine Richtung oder in beide Richtungen erfolgen, sog. Input- und Output-Messages, der Ausgang eines Dienstes kann auf eine Antwort warten oder nur ein Endpunkt versendet eine Nachricht. Code-Abschnitt 5.3.3 verdeutlicht die bidirektionale Kommunikation für die Authentifizierung mit einer Input- und einer Output-Message. Dies bedeutet, dass als Input Daten, in diesem Fall Benutzername und Passwort, erwartet und eine Zahlen- und Buchstabenkombination, die sog. SessionId, als Antwort zurückgeschickt werden.

```

1 <portType name="sycare">
2   <operation name="authenticate">
3     <documentation>
4       Client has to authenticate against Webservice with username and
        password. If account exists we will return an appropriate
        userid. If authentication takes place within a configurable
        period before password expires, we return the additional
        parameter PwdExpire with the date of expiration as value. If
        account does not exist we return zero.
5     </documentation>
6     <input message="tns:authenticateRequest"/>
7     <output message="tns:authenticateResponse"/>
8   </operation>
9 </portType>

```

Code-Abschnitt 5.3.3: COMES<sup>®</sup>-WSDL: PortType-Tag**Binding**

Mit Hilfe des Binding wird das zu verwendende Protokoll angegeben. Dabei kann es sich beispielsweise um SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), HTTP (Hypertext Transfer Protocol), MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) oder SOAP (Simple Object Access Protocol) handeln. Der Code-Ausschnitt 5.3.4 zeigt die Umsetzung im Projekt COMES<sup>®</sup>. Im Element *transport* wird das Übertragungsprotokoll als HTTP definiert. Die Daten sind im Format *document*, was bedeutet, dass nur Daten an den Server übertragen werden und keine Methodendefinitionen. Dies wird im Element *style* angegeben. Mit Hilfe des Elements *operation* wird festgelegt, welche Methode welche Aktionen enthält. Wie bei den Porttypen

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

kann hier zwischen uni- und bidirektionaler Kommunikation, dem Warten auf eine Antwort sowie der Benachrichtigung des Servers an den Client differenziert werden.

```
1 <binding name="sycareSOAP" type="tns:sycare">
2   <soap:binding style="document"
3     transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" />
4   <operation name="authenticate">
5     <soap:operation
6       soapAction="https://comes.synergysystems-net.com/
7         sycare/soap/sycare-0.12.wSDL/authenticate" />
8     <input>
9       <soap:body use="literal" />
10    </input>
11    <output>
12      <soap:body use="literal" />
13    </output>
14  </operation>
15 </binding>
```

Code-Abschnitt 5.3.4: COMES<sup>®</sup>-WSDL: Binding-Tag

### Ports und Dienste

Ports und Services werden zusammengefasst. Ein Service-Element beinhaltet ein oder mehrere Definitionen von Ports. Wie Code-Abschnitt 5.3.5 verdeutlicht, gibt der Port die Adresse des jeweiligen Dienst-Endpunktes wieder (location-Tag). Mit Hilfe des binding-Elements werden Daten und Protokollformat für Operationen und Nachrichten definiert.

```
1 <service name="sycare">
2   <port binding="tns:sycareSOAP" name="sycareSOAP">
3     <soap:address
4       location="https://comes.synergysystems-net.com/sycare/soap/
5         sycare_ws.php"/>
6   </port>
7 </service>
```

Code-Abschnitt 5.3.5: COMES<sup>®</sup>-WSDL: Service-Tag

Betrachtet man nun die gesamte WSDL-Datei für COMES<sup>®</sup> so erkennt man, dass der Web-Service zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit zwölf Methoden anbietet. Damit ist es möglich, Daten aus der COMES<sup>®</sup>-Datenbank abzufragen sowie einzutragen und dies nur, wenn eine erfolgreiche Authentifizierung erfolgte. Nachfolgend werden diese Methoden

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

aufgelistet und kurz beschrieben. Der Methodenname ist in englischer Sprache.

### **authenticate**

Die Methode `authenticate` muss immer als erstes ausgeführt werden. Der Anwender meldet sich mit Benutzername und Passwort an. Bei erfolgreicher Anmeldung erhält er als Antwort eine sog. *Session ID* zurück. Diese besteht aus einer 32-Zeichen langen Abfolge von Buchstaben und Zahlen und ist 30 Minuten lang gültig. 14 Tage vor Ablauf des Passwortes - dieses ist jeweils 90 Tage lang gültig - wird zusätzlich zur Session ID das Datum mitgeliefert, an dem das Passwort ablaufen wird.

Ist das Passwort bei Anmeldung bereits abgelaufen, so erhält man als Fehlermeldung `Password is expired`. Bei Eingabe einer falschen Kombination aus Benutzername und Passwort liefert der Web-Service `Invalid credentials` zurück.

### **getDeviceTypes**

Manchmal ist es nötig, die Geräte, die ein Anwender besitzt, zu kennen. Mittels der Methode `getDeviceTypes` werden alle Gerätetypen, die einem Anwender zugewiesen sind, zurückgeliefert. Dazu ist lediglich die Eingabe der mit Hilfe von `authenticate` erhaltenen Session ID notwendig. Als Resultat bekommt man bspw. AC für Activity (Sensor zur Messung der Aktivität) oder BP für Blood Pressure (Blutdruckmessgerät).

### **getDeviceManufacturers**

Nicht nur der Gerätetyp ist von Interesse, sondern auch der Hersteller des Gerätes. Die Methode `getDeviceManufacturers` zeigt als Ergebnis alle Hersteller dieses Gerätetyps an, die dem Anwender zugewiesen sind. Für die Abfrage ist neben dem Gerätetyp noch die Session ID erforderlich.

### **getDeviceName**

Besonders für die Geräteverwaltung und der damit verbundenen Verwendung von RFID-Tags sollte die Modellbezeichnung bekannt sein. Diese Funktion ist jedoch nur Administratoren zugeordnet und keinen Patienten. Zur Eingabe benötigt man einen Gerätetyp, den entsprechenden Hersteller und eine gültige Session ID. Als Ergebnis erhält man eine Liste mit Gerätemodellen, die vom Hersteller dieses Gerätetyps in COMES<sup>®</sup> bekannt sind. Beispielsweise liefert die SOAP-Abfrage mittels SoapUI - dies ist ein Programm zur einfachen Handhabung von Web-Services mit SOAP - die in COMES<sup>®</sup> verfügbaren Modelle von Blutdruckmessgeräten des Herstellers IEM als Ergebnis, zu sehen in Code-Abschnitt 5.3.6:

```
1 <SOAP-ENV:Envelope
  xmlns:SOAP-ENV="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:ns1="https://comes.synergysystems-net.com/sycare/soap/
  sycare-0.14.wsdl">
2 <SOAP-ENV:Body>
3   <ns1:DeviceName>
4     <DeviceName>klockmobil</DeviceName>
5     <DeviceName>stabilograph</DeviceName>
```

```
6     </ns1:DeviceName>  
7     </SOAP-ENV:Body>  
8 </SOAP-ENV:Envelope>
```

Code-Abschnitt 5.3.6: SOAP-Antwort für *getDeviceName* Methode

### **getMeasuredData**

Möchte ein Anwender bspw. die Blutdruckwerte der letzten 30 Tage angezeigt bekommen, so eignet sich dafür die Methode *getMeasuredData*. Für diese Methode ist die Eingabe der Session ID, worüber der Anwender identifiziert wird, sowie des Gerätetyps und die Anzahl der Tage erforderlich. Dadurch erhält man die Messwerte des Anwenders zu diesem Gerätetyp innerhalb der letzten Tage.

### **getStatus**

Die Methode *getStatus* ist eine wichtige Methode, die unterschiedliche Informationen, wie verfügbare Nachrichten oder Umfragen sowie Informationen über ein bestimmtes Geräte liefert. Dabei sind neben der Session ID zur Identifizierung auch ein sogenannter Status Scope einzutragen. Dies ist eine Zahl zwischen 1 und 7 und hat unterschiedliche Bedeutungen. Die Zahl 1 liefert die Anzahl der noch ungelesenen Nachrichten zurück, wohingegen 2 die Anzahl der noch ungelesenen Umfragen wiedergibt. Der Status Scope 3 kombiniert beides. Mit 4 werden Angaben über das Messgerät, eine sogenannte Device Info, übertragen. Dazu ist aber der Eintrag entweder der MAC-Adresse oder der Seriennummer notwendig. Als Ergebnis erhält man neben der eingegebenen MAC-Adresse bzw. Seriennummer noch den Gerätetyp sowie den Zeitpunkt der ersten und letzten Messung zurück. Dieser Zeitpunkt wird in Millisekunden seit dem 01.01.1970 um 00:00 Uhr angegeben. Status Scope 5 ist eine Kombination aus Status Scope 1 und 4, 6 eine Kombination aus 2 und 4 und Status Scope 7 eine Kombination aus 3 und 4. Schließlich wird für jeden Status Scope als Bestätigung einer erfolgreichen Übertragung im Tag „Accepted“ der Wert *true*, also wahr, zurückgeliefert.

### **getSurvey**

Der Web-Service kann alle offenen sowie auch die bereits beantworteten Umfragen eines Anwenders ausgeben. Um die älteste Umfrage, die noch auf Antwort wartet, zu erhalten, ist lediglich die Eingabe einer Session ID notwendig. Im XML-Tag *Survey ID* und ebenso im XML-Tag *Direction* sind jeweils ein „?“ und im XML-Tag *Increment* die Zahl „1“ einzutragen. Möchte man die Umfrage vor oder nach einer bestimmten Umfrage erhalten, so ist neben der *Survey ID* (Umfragen ID) die Richtung mit „f“ für vorwärts (*forward*) und „r“ für rückwärts (*reverse*) sowie die Schrittweite anzugeben. Als Ergebnis werden Umfragentitel, Fragen und ggf. vorgegebene Antwortmöglichkeiten sowie die Umfragen ID übertragen.

### **getMessage**

Ebenso wie bei der Methode *getSurvey* verhält es sich bei *getMessage*. Die ältesten nicht gelesenen Nachrichten können durch Eingabe der Session ID, der Eingabe von „?“ für *Message ID* und *Direction* sowie einer „1“ für *Increment* abgefragt werden. Nachrichten vor oder nach

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

einer bestimmten Nachricht können mit der Message ID und der Richtung „f“ für vorwärts (forward) und „r“ für rückwärts (reverse) sowie der Schrittweite übertragen werden. Damit ist eine Art blättern der Nachrichten möglich. Der Web-Service liefert als Ergebnis den Nachrichtentyp, bspw. „String“ für Textnachricht, den Nachrichtentitel sowie deren Inhalt und die Nachrichten ID (Message ID).

### newPwd

Mit der Methode newPwd ist es möglich, ein neues Passwort für die Authentifizierung zu setzen. Neben der Session ID ist lediglich der Eintrag eines neuen Passwortes erforderlich. Dies muss zwischen 5 und 19 Zeichen lang sein und aus einer Kombination aus Groß- und Kleinbuchstaben sowie Zahlen und Sonderzeichen bestehen. Bei einer falschen Eingabe wird die Fehlermeldung „Password does not match password criteria“ angezeigt. Bei erfolgreicher Passwortänderung liefert der Web-Service einen Status zurück. Dieser beinhaltet die selben Informationen wie beim Aufruf der Methode getStatus mit Status Scope 3.

### sendData

Eine der am häufigsten verwendete Methoden im COMES<sup>®</sup>-Web-Service ist sendData. Damit werden die von einem medizinischem Gerät empfangenen Messwerte in das COMES<sup>®</sup>-Center übertragen. Neben einer gültigen Session ID, die zugleich den Anwender identifiziert und somit sicherstellt, dass die empfangenen Messwerte dem richtigen Anwender zugewiesen werden, sind noch die Eingaben von Datentyp (DataType), Gerätetyp (DeviceType) und Gerätedaten (DeviceData) erforderlich. Der Datentyp gibt an, welchen Typs die Daten sind. Derzeit ist lediglich „ASCII-DELIMITED“ implementiert. Der Gerätetyp gibt den Typ des Messgerätes an. Dieser besteht aus zwei Großbuchstaben und kann mit der Methode getDeviceTypes abgefragt werden. Die Gerätedaten sind als umschließender Tag für gerätespezifische Informationen sowie den eigentlichen Messwerten zu verstehen. Innerhalb dieses Tags sind entweder die MAC-Adresse des Bluetooth-Moduls innerhalb des medizinischen Gerätes oder deren Seriennummer zu verstehen. Für die Seriennummer ist zusätzlich die Angabe des Herstellers notwendig. Schließlich sind die eigentlichen Messwerte in einem speziellen Format einzutragen. Tabelle 5.4 zeigt alle derzeit zur Verfügung stehenden Formate der einzelnen Messwerte. Dabei können beliebig viele Messwerte desselben Gerätetyps übertragen werden. In Code-Abschnitt 5.3.7 ist als Beispiel die SOAP-Nachricht zur Übertragung von drei Blutdruckmesswerten zu sehen.

```
1 <soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:syc="http://localhost/Soap/soap/sycare-0.14.wsdl">
2   <soapenv:Header/>
3   <soapenv:Body>
4     <syc:sendDataRequest>
5       <SessionId>6549765967dbad574e58796230568707</SessionId>
6       <DataType>ASCII-DELIMITED</DataType>
7       <DeviceType>BP</DeviceType>
8       <!--1 or more repetitions:-->
```

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

```

9      <DeviceData>
10         <BD_ADDR>BA201300AA02</BD_ADDR>
11         <BPData>###; ;2014;02;26;07;22;56; ;122;81;66</BPData>
12         <BPData>###; ;2014;02;26;19;52;01; ;128;78;72</BPData>
13         <BPData>###; ;2014;02;27;07;15;30; ;125;84;69</BPData>
14     </DeviceData>
15 </syc:sendDataRequest>
16 </soapenv:Body>
17 </soapenv:Envelope>

```

Code-Abschnitt 5.3.7: SOAP-Eintrag für sendData Methode

Für eine genaue Beschreibung sei auf die WSDL-Datei auf beigefügter CD verwiesen.

Messparameter	Format
Blutdruck	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;sytric;diastolic;pulse
Gewicht	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;weight
Blutzucker	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;glucose
Aktivität	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;duration;steps;weight;met;calorie;distance
Temperatur	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;temperature
Sauerstoffsättigung	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;oxygen saturation
Hautleitwert	###;record_id;year;month;day;hour;minute;second;unit;electrodermal response

Tab. 5.4.: Derzeit verfügbare SOAP-Datenformate zur Datenübertragung an das COMES<sup>®</sup>-Center

### sendRFID

Für COMES<sup>®</sup> steht zur besseren Verwaltung der Geräte ein System zur Verfügung, das mit Hilfe von RFID-Tags eine eindeutige Zuweisung zum Gerät ermöglicht. Damit können auf einfache Art und Weise notwendige Ein- und Austragungen in der Datenbank vorgenommen werden (s. Kapitel 5.3.7). Um diesen Service zu ermöglichen, bietet der COMES<sup>®</sup>-Web-Service die Methode sendRFID an. Damit kann ein 24-stelliger RFID-Tag einem Gerät, das durch die gerätespezifischen Merkmale wie MAC-Adresse bzw. Seriennummer und Gerätetyp sowie Hersteller und der Name des Gerätetyps spezifiziert ist, zugewiesen werden. Zusätzlich ist eine administrative Session ID nötig. Das stellt sicher, dass nur berechtigte Personen einem Gerät eine RFID zuweisen können. Als Rückmeldung liefert der Web-Service entweder eine Fehlermeldung oder „true“ nach erfolgreicher Eintragung in die Datenbank.

### sendSurveyData

Mittels der Methode sendSurveyData ist es möglich, Antworten auf Umfragen zu senden.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Diese Methode ist in der aktuellen Architektur nicht mehr notwendig, wird aber dennoch beibehalten. Um eine Frage einer Umfrage beantworten zu können, sind die Session ID und die sog. Survey ID einzutragen. Des Weiteren sind Question ID (eindeutige ID der Frage) und entweder Answer ID (ID der Antwort) oder der Inhalt der Antwort erforderlich. Auch hier ist es möglich, beliebig viele Fragen mit einer SOAP-Nachricht zu beantworten. Als Rückmeldung vom Server erhält man wiederum einen Status, der der Methode getStatus mit Status Scope 3 entspricht.

Neben dem soeben vorgestellten SOAP existieren eine Vielzahl weiterer Web-Service-Protokolle, wie JSON-RPC, Hessian oder REST. Diese werden jedoch in dieser Arbeit nicht vorgestellt. Für nähere Informationen sei deshalb auf die entsprechende Literatur verwiesen.

### 5.3.4. Webfrontend

Das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend ist die Schnittstelle zwischen Anwender und dem COMES<sup>®</sup>-Center. Diese Anwenderschnittstelle ist browserbasiert, was bedeutet, dass mittels jedes browserfähigen Endgerätes, wie PC oder Tablet, eine Interaktion mit dem COMES<sup>®</sup>-Center möglich ist. Ziel des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend ist es, dass Anwender ohne Programmierkenntnisse Inhalte auf intuitive Art und Weise in die COMES<sup>®</sup>-Datenbank einfügen bzw. bearbeiten können und Informationen abfragen und aufbereitet ansehen können. Basis für dieses Vorgehen sind die einzelnen Tabellen der COMES<sup>®</sup>-Datenbank und deren Verknüpfung untereinander. Diese wurden bereits in Kapitel 5.3.1 behandelt. Im Nachfolgenden wird der Aufbau und die Möglichkeiten des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend aufgezeigt. Dabei wird auf die Struktur und Logik eingegangen und mit einigen Abbildungen verdeutlicht. Einige nachfolgenden Beschreibungen sind aus [145] entlehnt.

Grundlage des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend ist das Zend Framework und die damit eng verknüpfte MVC-Architektur. Näheres hierzu ist im Kapitel 5.3.2 nachzulesen. Für ein einheitliches Design und der Erweiterung der statischen PHP-Seite zu einer dynamischen Seite findet das Javascript-Framework jQuery Anwendung.

Das Frontend ist für drei verschiedene Personengruppen konzipiert, die sich dadurch unterscheiden, welche Verwaltungs- und Betrachtungsmöglichkeiten sie haben. Dies kann durch die Rechtevergabe an einzelne Benutzer eingeschränkt werden. Grundsätzlich gilt für jeden Benutzer im System:

- Der Benutzer ist einer bestimmten Gruppe zugeordnet. Dies kann die Gruppe der Systemadministratoren, der Organisationsmitglieder oder der Patienten sein.
- Der Benutzer ist einer bestimmten Organisation zugeordnet, die auch im System vorhanden sein muss.
- Das Konto des Benutzers nimmt einen der derzeit vier verschiedenen Stati „aktiv“, „inaktiv“, „neu“ oder „eingefroren“ an. Dieser Status hat maßgeblich Einfluss auf das

Verhalten des Frontends beim Login.

### **Personengruppe Systemadministrator**

Hauptaufgabe des Systemadministrators ist es, das System zu verwalten. Dazu gehören vor allem die Verwaltung von Organisationen oder das Überwachen von Systemprotokollen, sogenannten Log-Files. Aus diesem Grund ist diese Benutzergruppe sehr klein und kann nur von anderen Systemadministratoren um Mitglieder erweitert werden.

### **Personengruppe Organisationsmitglied**

Ein Organisationsmitglied hat administrative Rechte innerhalb der eigenen Organisation. Es darf die Daten der Organisation bearbeiten, jedoch diese nicht löschen. Zusätzlich können Organisationsmitglieder, aber auch Patienten hinzugefügt und bearbeitet werden. Weiterhin können Nachrichten an Patienten, Organisationsmitglieder oder den Systemadministratoren gesendet werden sowie Umfragen angelegt, verteilt und ausgewertet werden. Sollte einem Organisationsmitglied ein Patient zugewiesen sein, so kann es - die einzelnen Rechte vorausgesetzt - u.a. die Messwerte des Patienten grafisch aufbereitet ansehen. Typische Organisationsmitglieder mit Patienten sind Ärzte, ohne Patient bspw. Verwaltungsangestellte eines Klinikums.

### **Personengruppe Patienten**

Patienten haben die wenigsten Rechte im System. Neben Ansehen und ggf. nach Zustimmung des Arztes auch des Versendens von Nachrichten können Umfragen angesehen und beantwortet werden sowie die eigenen Messungen als Kurven oder Zahlenwerte betrachtet werden. Für Patienten ist deshalb neben dem COMES<sup>®</sup>-Webfrontend eine eigens für Touchscreen ausgelegte Version des Frontends verfügbar. Dies wird im Kapitel 5.3.5 vorgestellt.

Eingangstür für das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend ist der Anmeldebereich, der eine gültige Kombination aus Benutzername und Passwort erfordert. Der Anwender muss seine E-Mail Adresse, welche das eindeutige Erkennungsmerkmal im System darstellt, und sein Passwort eingeben. Nach dem Abschicken des Formulars erfolgt vom System die Überprüfung der Daten. Dazu gehören die folgenden Punkte:

1. E-Mail und Passwort werden auf ihre Gültigkeit hin und der korrekten Eingabe im System überprüft.
2. Jedes Passwort hat eine Gültigkeit von derzeit 180 Tagen. Ist diese Zeit abgelaufen, wird der Anwender nach erfolgreicher Anmeldung zur Passwortänderung aufgefordert, ehe der Anmeldevorgang abgeschlossen wird.
3. Wie bereits erwähnt, spielt der Status des Benutzerkontos eine gewichtige Rolle. Nur wenn der Status „aktiv“ heißt, ist der direkte Zugang zur Hauptseite möglich. Der Status „neu“ deutet an, dass sich der Nutzer das erste Mal anmeldet. Er wird danach aufgefordert, sein Passwort zu ändern. Sollte der Status des Nutzers „inaktiv“ oder „eingefroren“ sein, kann er sich nicht anmelden. Dies ist erst wieder nach Rücksprache mit einem Systemadministrator möglich.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

4. Ist eine gesamte Organisation „inaktiv“, so sind alle Nutzer dieser Organisation „inaktiv“. Dies bedeutet, dass ein Anmelden nicht möglich ist und nur durch einen Systemadministrator geändert werden kann.

Treten im soeben beschriebenen Ablauf Unwegsamkeiten auf, die einen reibungslosen Anmeldevorgang nicht ermöglichen, wird der Anwender zu einer bestimmten Tätigkeit aufgefordert oder über den Fehler informiert. Andernfalls wird der Nutzer auf seine persönliche Hauptseite weitergeleitet.

Um dem System mitzuteilen, dass der Nutzer sich erfolgreich angemeldet hat, wird auf dem Server eine neue Sitzung, die sogenannte „Session“, erstellt. Darin wird die eindeutige Nutzer-Identifikationsnummer (Nutzer ID) hinterlegt, damit der Anwender identifiziert werden kann. Diese Nutzer ID wird häufig bei der Formularverarbeitung in den einzelnen Modulen benötigt. Zusätzlich wird ein Zeitstempel in die Session gespeichert, die den Zeitpunkt der Anmeldung widerspiegelt. Das Zend Framework stellt dazu die Klasse Zend\_Auth zur Verfügung. Darüber kann auch auf diese Daten zugegriffen werden. Bevor der Anwender eine neue Seite aufruft, wird überprüft, ob die Session noch gültig ist und Passwort und Nutzernamen übereinstimmen. Sollten Ungleichheiten auftreten, also beispielsweise die Passwörter aus Session und Datenbank nicht mehr dieselben sein, hat ein schwerwiegender Eingriff auf den Server stattgefunden. Das Konto wird eingefroren und der Nutzer abgemeldet. Ein erneutes Anmelden ist dann nicht mehr möglich, sondern muss durch einen Systemadministrator bestätigt werden. Ist der Anwender seit mehr als 30 Minuten untätig, so wird er ebenfalls aus Sicherheitsgründen automatisch abgemeldet. Im Regelfall aber wird der Session-Zeitstempel nach jedem Aufruf eines Moduls erneuert.

Das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend ist modular aufgebaut, was bedeutet, dass Funktionalitäten leicht hinzugefügt werden können. Dabei beschreibt ein Modul eine Funktion auf dem COMES<sup>®</sup>-Webfrontend, also beispielsweise die Verwaltung der Patienten. Im Nachfolgenden werden die einzelnen Module des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend vorgestellt und kurz beschrieben.

### 5.3.4.1. Modul Organisationsverwaltung

Das Modul für die Organisationsverwaltung ist in zwei Hauptteile untergliedert: im ersten Teil, der nur für Systemadministratoren zugänglich ist, können die bestehenden Organisationen nach bestimmten Kriterien gefiltert oder eine neue Organisation dem System hinzugefügt werden. Der zweite Teil ist die Detailansicht der gewählten Organisation, in der Organisationsdaten auch geändert werden können. Der Aufbau der Organisationsverwaltung ist in Abbildung 5.23 gezeigt.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Name	Ort	Webseite	Status
Beispielsunternehmen	München		aktiv
Beispielsunternehmen_chris	Hamburg	www.tum.de	inaktiv
Dr. Elsässer	Stegen		aktiv
HNI Paderborn	Paderborn	http://www.hni.uni-paderborn.de/pe/	aktiv
Hochschule Kempten	Kempten		aktiv
LME TU München	München	www.lme.ei.tum.de	aktiv
Praxisgemeinschaft Demo	München		aktiv
TU München	München	www.tum.de	aktiv

Abb. 5.23.: Hauptseite der COMES<sup>®</sup>-Organisationsverwaltung

Unterhalb des Formularbereichs zum Filtern bzw. Anlegen einer neuen Organisation befindet sich eine Tabelle, die entweder alle Organisationen oder die gefilterten Organisationen anzeigt. Diese Tabelle ist nach den einzelnen Spaltenüberschriften sortierbar. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Anzahl der anzuzeigenden Elemente anzugeben und mit Hilfe einer Blätterfunktion am unteren Ende der Tabelle die Tabelleninhalte anzuzeigen. Schließlich besitzt die Tabelle zusätzlich noch eine Suchfunktion. Die Tabelle innerhalb der Organisationsverwaltung besitzt die Spalten *Name* für den Namen der Organisation, *Ort* zur Angabe des Ortes der Organisation, *Website* für die Information über eine mögliche Internetseite sowie *Status* zur Information, ob die Organisation aktiv oder inaktiv ist.

Wird der Name einer Organisation in der Tabelle angeklickt, öffnet sich die Detailansicht zur Organisation. Diese Ansicht ist auch die Startseite des Moduls, falls der angemeldete Benutzer ein Organisationsmitglied ist. Er gelangt dann zur Detailansicht seiner Organisation. In Tabellenform können alle Informationen über die Organisation eingesehen werden. Zusätzlich wird die Anzahl der Mitarbeiter und Patienten, die Mitglieder dieser Organisation sind, angezeigt. Dies in Abbildung 5.24 dargestellt. Möchte der Benutzer die Daten ändern oder fehlende hinzufügen, so kann er dies über den Reiter „Daten ändern“ durchführen. Die bereits vorhandenen Daten sind im Formularfeld vor ausgefüllt. Für Systemadministratoren besteht zusätzlich die Möglichkeit, den Status der Organisation zu ändern.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

### Details der Organisation LME TU München

Details		Daten ändern			
<b>Name</b>	LME TU München	<b>Webseite</b>	www.lme.ei.tum.de	<b>Tel.</b>	08928925031
<b>Fax</b>	08928925030	<b>Land</b>	Deutschland	<b>Ort</b>	München
<b>PLZ</b>	80333	<b>Straße</b>	Theresienstraße 90	<b>Status</b>	aktiv
<b>Mitarbeiter</b>	12	<b>Patienten</b>	83		
<b>Beschreibung</b>	Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik				

Abb. 5.24.: Detailansicht einer Organisation innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Organisationsverwaltung

### 5.3.4.2. Modul Benutzerverwaltung

Jede Organisation hat verschiedene Benutzer. Dies können beispielsweise Ärzte oder Praxis- bzw. Klinikpersonal sein, jedoch keine Patienten. Die Aufteilung dieser Seite ist ähnlich der des Moduls Organisationsverwaltung. Neben der Möglichkeit des Filterns nach Benutzer können auch neue Benutzer im System angelegt werden. Nur Systemadministratoren können alle Benutzer einer Organisation aufgelistet bekommen, wohingegen organisationsweite Nutzer lediglich die Benutzer der eigenen Organisation betrachten können. Beim Anlegen eines neuen Benutzers ist ebenfalls darauf zu achten, dass Organisationsmitglieder nur einen neuen Kollegen in der eigenen Organisation anlegen und dessen Rechte vergeben können. Besonders hervorzuheben gilt es, dass für jeden Benutzer explizit Nutzerrechte vergeben werden müssen. Die Rechte haben Einfluss auf das Erscheinungsbild und die Funktionalität des Frontends für den neuen Benutzer. Dies kann beispielsweise zur Unterscheidung von verschiedenen Mitarbeitergruppen dienen, etwa Ärzten und Arzthelfern bzw. Pflegepersonal. Dem neuen Nutzer können vom anlegenden Benutzer nur die Rechte eingeräumt werden, die der anlegende auch selber inne hat. Für jedes Recht können die Attribute „schreiben“, der Nutzer hat schreibende und lesende Rechte, „lesen“, der Nutzer hat lediglich lesende Rechte, d.h. er kann die Daten nicht ändern, sowie „kein Zugriff“ vergeben werden. Die nachfolgende Tabelle 5.5 gibt Aufschluss darüber, welche Rechte an Benutzer vergeben werden können und welchen Einfluss dies auf das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend hat.

Die Tabelle unterhalb des Formularbereichs liefert die wichtigsten Informationen des Benutzers: Nachname, Vorname, Benutzergruppe, Organisation, Email-Adresse sowie Status. Durch einen Klick auf den Nachname eines Benutzers können dessen Details betrachtet (Reiter „Details“) und, entsprechende Rechte vorausgesetzt, geändert werden (Reiter „Daten ändern“). Abbildung 5.25 zeigt das Erscheinungsbild, wenn Änderungen der Benutzerrechte vorgenommen werden sollen.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Rechte	Schreiben	Lesen	Kein Zugriff
Organisationsverwaltung	Der Benutzer hat vollen Zugriff auf die Organisationen. Er darf Daten ändern bzw. auch neue Organisationen anlegen (als Systemadministrator)	Der Benutzer darf die Daten der Organisation(en) nur einsehen. Er hat keine Änderungsmöglichkeiten.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Organisationsverwaltung. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Mitarbeiterverwaltung	Der Benutzer hat vollen Schreibzugriff auf die Benutzerverwaltung.	Der Benutzer darf die Daten der anderen Benutzer nur einsehen. Er hat keine Änderungsmöglichkeiten.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Benutzerverwaltung. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Arzt-Patienten-Beziehung	Der Benutzer darf einem Patienten einen Arzt zuweisen und die Behandlung beginnen und beenden.	Der Benutzer sieht nur, wer bei welchem Arzt in Behandlung ist. Er kann diese Beziehungen nicht bearbeiten.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Verwaltung. Ihm steht das Menü nicht zur Verfügung.
Nachrichtensversand	Der Benutzer darf Nachrichten sowohl schreiben als auch lesen.	Der Benutzer hat nur die Möglichkeit, Nachrichten zu empfangen. Er kann weder neue schreiben noch auf eine Nachricht antworten.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf das Modul. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Patientenverwaltung	Der Benutzer hat die volle Verwaltungsmöglichkeit der Patienten. Dies beinhaltet das Anlegen von Patienten, das Ändern von Daten, das Anlegen eines Falls und die Festlegung der Messwertgrenzen.	Der Benutzer kann die Daten der Patienten nur einsehen.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Patientenverwaltung. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Patientengruppenverwaltung	Der Benutzer kann Patientengruppen anlegen und löschen.	Der Benutzer kann nur einsehen, welche Patientengruppen derzeit vorhanden sind.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Verwaltung. Der entsprechende Reiter wird nicht erstellt.
Umfragen	Der Benutzer darf neue Umfragen erstellen, bearbeiten und den Patienten zuweisen.	Der Benutzer kann die Umfragen nur einsehen. Er hat keine Bearbeitungsmöglichkeiten.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Umfragenverwaltung. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Geräteverwaltung	Der Benutzer hat vollen Zugriff auf die Verwaltung der Messgeräte und Messkits. Er hat die Möglichkeit, diese einem Patienten bzw. einer Organisation zuzuordnen.	Der Benutzer hat nur die Möglichkeit, Informationen über die derzeitigen registrierten Geräte anzusehen.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf die Geräteverwaltung. Der Menüpunkt wird nicht erstellt.
Seriennachrichten	Der Benutzer kann Seriennachrichten erstellen und bearbeiten.	Der Benutzer kann Seriennachrichten nur einsehen.	Der Benutzer hat keinen Zugriff auf das Modul. Der Reiter wird nicht erstellt.

Tab. 5.5.: Benutzerrechte innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Benutzerverwaltung

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

### Details des Benutzers Rainer Zedek

Modul	schreiben	lesen	kein Zugriff
Organisationsverwaltung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Mitarbeiterverwaltung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Arzt-Patienten-Beziehungen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nachrichten	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Patientenverwaltung	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Patientengruppenverwaltung	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Umfragen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geräteverwaltung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Seriennachrichten	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Statistische Analyse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Rechte speichern

**Abb. 5.25.:** Detailansicht eines Benutzers zur Änderung der Rechte innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Benutzerverwaltung

### 5.3.4.3. Modul Patientenverwaltung

Mit dem Modul „Patientenverwaltung“ kann eine große Zielgruppe des COMES<sup>®</sup>-Systems, nämlich die Patienten, verwaltet und organisiert werden. Hier sind neben den bereits bekannten Standardaufgaben aus den vorherigen Unterkapiteln auch die patientenspezifischen Aufgaben, wie das Anlegen eines Falls und der Organisation der Patientengruppen, untergebracht.

Neben den bereits aus den vorhergehenden Verwaltungsmodulen bekannten Filter- und Anlegemöglichkeiten werden die vorhandenen Patienten tabellarisch mit den wichtigsten Fakten aufgelistet. Für Organisationsmitglieder ist die Auswahl auf Patienten der eigenen Organisation beschränkt. Durch Auswahl eines Patienten wird dessen Detailansicht angezeigt. Hier können die gesamten Details eingesehen und bearbeitet werden. Besonders hervorzuheben ist, dass dem Patienten behandelnde Ärzte hinzugefügt bzw. deren Behandlungszeitraum eingetragen werden kann. Dem Patienten kann zudem die Kontaktaufnahme mit dem Arzt über das System ermöglicht werden. Außerdem können für den Patienten Fälle gemäß einer Diagnosenummer, dem sogenannten ICD-Code, hinterlegt werden. Schließlich ist es möglich, für Messparameter einzelne Messlimits mit Ober- und Untergrenzen anzugeben. Dies ist besonders für die Therapiebegleitung von Vorteil, da somit das System wichtige Grenzen erkennen kann.

Schließlich besteht im Modul Patientenverwaltung die Möglichkeit, Patientengruppen zu definieren und zu verwalten. Diese Gruppen können von jeder Organisation selbst erstellt werden. Patientengruppen dienen dem Arzt oder einer Institution zur besseren Einteilung der Patienten in Gruppen. Beispielsweise können so in einer Studie Hypertoniker mit Begleiterkrankungen und Hypertoniker ohne Begleiterkrankungen zusammengefasst werden.

#### 5.3.4.4. Modul Geräteverwaltung

Das Modul „Geräteverwaltung“ dient zur Verwaltung und Organisation von Messkits, Geräten, Gerätetypen und Gerätegruppen. Letztere definieren das (medizinische) Gerät anhand der erhobenen Messparameter oder bspw. im Falle eines Smartphones anhand der Verwendung. Mittels einer Beschreibung kann der vergebene Name näher erläutert werden. So könnte der Name für ein Blutdruckmessgerät, das den systolischen und diastolischen Wert sowie meistens den Puls misst, *Blutdruck* heißen. Der Gerätetyp spezifiziert das medizinische Messgerät genauer und kann sich an Herstellerangaben anlehnen. Um beim Beispiel des Blutdruckmessgerätes zu bleiben, könnte der Gerätetyp *Oberarmblutdruckmessgerät UA-767PBT* oder *Handgelenkblutdruckmessgerät KlockMobil* heißen. Zusätzlich zum eigentlichen Namen ist die Angabe des Herstellers notwendig. Schließlich wird mittels Gerät das eigentliche Gerät anhand von Seriennummer bzw. Bluetooth-MAC-Adresse und optional einem RFID-Code genau spezifiziert. Alle vorhanden Geräte werden nun in einen Koffer, dem sogenannten Messkit gepackt. Dieses Messkit ist im Besitz einer bestimmten Organisation und kann wiederum nur Patienten der eigenen Organisation zugeteilt werden.

Ein entscheidender Vorteil der Geräteverwaltung ist es, dass zu jedem Zeitpunkt nachvollziehbar ist, wann welches Gerät in welchem Messkit war und welcher Patient es zu dieser Zeit im Besitz hatte. In Abbildung 5.26 ist ein solches Protokoll zu sehen. Es zeigt, dass in diesem Messkit in der Vergangenheit zwei Geräte waren, die im November 2013 bzw. Januar 2014 entfernt wurden. Alle anderen aufgelisteten Geräte sind weiterhin in diesem Messkit.

Gerät	Seriennummer	Startdatum	Enddatum
Nexus 4	353918-05-612810-7	06.12.2013	offen
smartLAB walk+	454102405	04.06.2013	offen
UA-767PBT	00A0963A61DC	08.05.2013	offen
UC-321PBT	00A0963AFE01	08.05.2013	offen
UW-101NFC	0170001531	18.11.2013	offen
Nexus 4	353918-05-303224-5	18.11.2013	24.11.2013
Xperia Arc S (LT18i)	35439905-064667-6	08.05.2013	06.01.2014

Abb. 5.26.: Ansicht aller Geräte, die in einem Messkit waren bzw. sind.

Somit sind mit der Geräteverwaltung keine aufwendigen zusätzlichen Listen mehr zu führen, sondern die notwendige Logistik kann mit Hilfe des COMES®-Systems umgesetzt werden. Zur schnelleren und einfacheren Handhabung, besonders des Annehmens und Ausgebens von Geräten und Messkits bzw. Zuweisens zu Patienten ist die Verwendung von RFID näher untersucht worden. Dies wird in Kapitel 5.3.7 ausgeführt.

#### 5.3.4.5. Modul Umfragen

COMES® eröffnet Benutzern die Möglichkeit, Umfragen bzw. Fragebögen zu erstellen, zu verteilen, auszufüllen und anschließend auszuwerten. Umfragen können in vielerlei Hinsicht eingesetzt werden und sind ein wichtiges Hilfsmittel in der automatisierten Therapiebegleitung. So können beispielhaft mit Umfragen Präferenzen jedes Einzelnen abgefragt werden, die zur Motivation oder zur Anwendung alternativer Therapieansätze, wie der Musiktherapie zur Blutdrucksenkung, eingesetzt werden können. Ein weiterer großer Vorteil v.a. der elektronischen Umfragen ist es, dass die Anwender nicht langwierige Fragebögen ausfüllen müssen, sondern diese auch in „kleinen Portionen“ verabreicht werden können. Somit kann die Motivation, einen Fragebogen bzw. eine Umfrage vollständig und gewissenhaft auszufüllen, hochgehalten werden.

Das Erstellen von Umfragen und Fragebögen soll einerseits intuitiv und einfach erfolgen, andererseits aber auch sämtliche Variationen von Fragebögen abdecken. Ein noch breiteres Spektrum erfordert die Darstellung der ausgefüllten Fragebögen. Dem gegenüber ist das Verteilen von Fragebögen nur mit wenigen Voraussetzungen verbunden. Aus all diesen Teilbereichen ergibt sich ein breiter Anforderungskatalog, der im Folgenden kurz dargestellt wird. Anschließend wird auf die Umsetzung eingegangen.

Zu einer Aussage bzw. Frage sollen verschiedene Antworttypen verfügbar sein: neben der Auswahl einer Antwort aus unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten soll es auch die Option geben, mehrere Antworten auswählen zu können. Des Weiteren soll eine Freitexteingabe und eine Kombination aus Freitexteingabe und Antwortmöglichkeiten angeboten werden. Schließlich ist es notwendig, wiederkehrende Skalen, wie *sehr gut, gut, befriedigend*, etc., einmalig im System hinterlegen und stets darauf zurückgreifen zu können. Die Angabe einer sogenannten *Gewichtung* bei Antwortmöglichkeiten dient vor allem zur Auswertung der Fragebögen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn den Antworten unterschiedliche Punkte zugeteilt werden und die Gesamtpunktzahl ein bestimmtes Ergebnis zur Folge hat. Besonders häufig wird diese Art der Auswertung bei schnellen Einteilungen gewisser Risiken, wie bspw. dem Herzinfarktrisiko, verwendet.

Fragen und Aussagen können ebenfalls eine *Gewichtung* besitzen. So kann die Antwort zu einer Frage weniger bedeutend sein als die zu einer anderen Frage. Fragen sollen zudem untereinander abhängig sein können. So kann beispielsweise bei der Abfrage des Lebensstils nach dem Besitz eines Haustiers gefragt werden. Wird diese Frage vom Anwender mit Ja beantwortet, so soll die Haustierart, also Hund, Katze, Fisch, etc., abgefragt werden. Wählt der Anwender hingegen Nein aus, so ist die Frage nach der Haustierart irrelevant.

Eine weitere Anforderung ist die Kategorisierung von Fragen. Dies dient dazu, Fragen zur selben Thematik logisch gruppieren zu können. Diese Kategorien sollen wiederum gewichtet werden können. Wie bei Fragen und Antworten dient die Gewichtung einzig der Auswertung.

Die Umsetzung der genannten Anforderungen erfolgt dadurch, dass zum Erstellen einer neuen Umfrage ein Dialog-Fenster geöffnet wird, das zur Eingabe des Umfragetitels sowie

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

einer Beschreibung auffordert. Anschließend kann man Kategorien mit Fragen und Antworten hinzufügen. Dies ist wiederum innerhalb einer Dialogbox möglich. Der Anwender wird durch die einzelnen Arbeitsschritte hindurchgeführt. Abbildung 5.27 zeigt die Auswahlmöglichkeiten für den Antworttyp innerhalb des Dialoges.



**Abb. 5.27.:** Auswahl der Antwortart im Modul Umfragen.

Für Antworten sind fünf Antwortfelder vorgegeben. Es können aber dynamisch beliebig viele Antwortfelder hinzugefügt werden. Zu jeder Kategorie können weitere Fragen bzw. Aussagen mit den jeweiligen Antworttypen hinzugefügt werden. Dies erfolgt wiederum in Dialogform. Durch dieses Vorgehen kann gewährleistet werden, dass der Anwender schnell und sicher Kategorien, Fragen und Antworten zu einem Fragebogen erstellen kann und die notwendigen Felder ausfüllt. Zudem ist es möglich, Abhängigkeiten zwischen einzelne Fragen und deren Antworten zu definieren.

Nachdem Kategorien, Fragen und Antworten angelegt wurden, können sie nicht nur bearbeitet und gegebenenfalls auch mitsamt allen Abhängigkeiten gelöscht werden, sondern kann vor allem auch die Reihenfolge durch einfaches „Drag & Drop“ (etwa: Klicken und Ziehen) verändert werden. Des Weiteren ist eine Ansicht nach Kategorien, aber auch gemäß der Fragennummer in aufsteigender Reihenfolge verfügbar. Somit können innerhalb kürzester Zeit die Fragen bearbeitet und nach den eigenen Vorstellungen sortiert werden.

Diese Umfragen bzw. Fragebögen können nun an einen oder allen Patienten oder an eine bestimmte Patientengruppe verteilt werden. Zudem ist es möglich, Fragebögen wiederkehrend zu verteilen. Das meint, dass z.B. derselbe Fragebogen im kommenden Jahr quartalsmäßig an den Patienten verteilt wird, um gegebenenfalls die Entwicklung des Krankheitszustandes verfolgen zu können. Dies ist beispielsweise bei psychologischen Erkrankungen notwendig.

Sobald die Patienten den Fragebogen bzw. die Umfrage ausgefüllt haben, obliegt es dem Arzt oder dem System diese auszuwerten. Für die Auswertung ist es einerseits erforderlich, den ausgefüllten Fragebogen anzeigen zu können. Dies ist wiederum tabellarisch mit der Sortierung nach Kategorien oder den aufsteigenden Fragen gelöst. Die Antworten zu den je-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

weiligen Fragen können einzeln angezeigt werden. Ein Ausdruck des gesamten Fragebogens im pdf-Format ist möglich. Andererseits sollen auch unterschiedliche grafische Darstellungsweisen verfügbar sein. Derzeit werden für die Darstellung ein Maßstab und ein Spinnennetz angeboten.

### 5.3.4.6. Modul Nachrichten

Ein wesentlicher Bestandteil des COMES<sup>®</sup>-Frontends ist die Möglichkeit, dass sich die Benutzer untereinander Benachrichtigungen zuschicken, aber auch automatisch vom System erhalten können. Die Funktionalität sollte jedoch über den bloßen Versand von Mitteilungen von einem Benutzer zum anderen hinausgehen, da sonst kein Mehrwert gegenüber E-Mail Nachrichten gegeben ist. Dies wird nicht nur durch die Spezifizierung systemeigener Gruppen als Adressaten, sondern auch durch die Bestimmung des (wiederkehrenden) Zeitpunkts des Nachrichtenversandes sowie der Möglichkeit der zufälligen Auswahl einer Nachricht aus einem Nachrichtenspeicher gewährleistet.

Es existieren demnach drei unterschiedliche Arten des Nachrichtenversandes innerhalb von COMES<sup>®</sup>. Ein Mitglied einer Organisation kann einen seiner Patienten eine Nachricht schicken. Für eine Nachricht sind immer die Angabe eines Betreffs sowie des Nachrichtentextes und der Empfängername anzugeben. Neben dem Versand an eine Einzelperson können Nachrichten auch an die Mitglieder einer Patientengruppe oder an alle Patienten dieser Organisation versandt werden. Zudem können Mitteilungen auch an Organisationsmitglieder, also alle Teilnehmer einer Organisation ohne Patienten, und Systemadministratoren erfolgen. Diese Art des Nachrichtenversands verschickt die Nachricht sofort an die entsprechenden Empfänger.

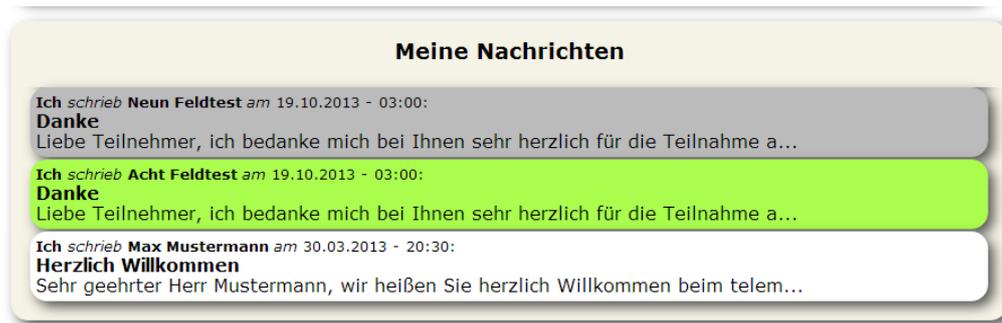
Ist dem Absender der Nachricht daran gelegen, dass der Empfänger die Nachricht zu einem bestimmten Zeitpunkt oder immer wiederkehrend, also bspw. an jedem Montag für die kommenden drei Monate, erhält, so kann er dies innerhalb des Nachrichtenmoduls ebenfalls umsetzen. Hier sind die Angabe von Beginn und Ende des Versandes sowie optional die Angabe des Versandintervalls anzugeben. Dies ist vor allem für Erinnerungen jeglicher Art von Vorteil. Neben dem Versand an eine Person ist auch hier der Versand an Benutzergruppen oder Patientengruppen möglich.

Betrachtet man nun die Möglichkeit, den Patienten beispielsweise durch das System zu mehr Bewegung zu motivieren, so sind immer gleichlautende Nachrichten stupide und auf Dauer ermüdend und langweilig. Der erhoffte Effekt würde somit ausbleiben. Damit nun eine Abwechslung im Nachrichtentext vorliegt ohne erheblichen Mehraufwand für den Absender, ermöglicht COMES<sup>®</sup> als dritte Möglichkeit das Anlegen eines Nachrichtenspeichers. In diesen Speicher können beliebig viele, mit Attributen versehene Nachrichten innerhalb bestimmter Kategorien angelegt werden. Als Absender kann man nun festlegen, dass z.B. ein Patient über sechs Monate täglich eine Nachricht aus der Kategorie „Bewegungsmotivation“ erhält. COMES<sup>®</sup> wählt dann täglich zufällig eine Nachricht aus, die den vergebenen Attributen entspricht. So wird beispielsweise eine Nachricht ausgewählt, die als Attribut „kein Regenwetter“ hat. COMES<sup>®</sup> überprüft nun, ob am Standort des Adressaten aktuell

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

regnerisches Wetter vorliegt. Ist dies der Fall, wird eine andere Nachricht ausgewählt, ansonsten wird diese Nachricht versandt. Somit erhält der Patient immer eine neue, passende Nachricht. Damit dies möglich ist, müssen jedoch die Kategorien und die entsprechenden Nachrichten mit den Attributen einmalig von einem Organisationsmitglied eingetragen werden.

Nachdem die Nachricht versandt wurde, kann sie der Empfänger auf der sogenannten WebApp (vgl. Kapitel 5.3.5) oder am Frontend lesen. Dazu sind alle Nachrichten einerseits innerhalb des sogenannten Dashboards (vgl. nachfolgendes Kapitel 5.3.4.7), wie in Abbildung 5.28 gezeigt, andererseits unterhalb der Formulargruppe innerhalb des Nachrichtenmoduls aufgelistet.



**Abb. 5.28.:** Darstellung der Nachrichten innerhalb des Dashboards.

Jede Nachricht ist in drei Zeilen unterteilt. Die erste Zeile zeigt den Absender sowie Datum und Uhrzeit des Nachrichtenversands. Bei ausgehender Nachricht wird der Absender mit „Ich“ und der Adressat mit Vor- und Zunamen aufgelistet, wohingegen bei eingehender Nachricht lediglich der Absender mit vollständigem Namen angezeigt wird. In der zweiten Zeile steht der Betreff der Nachricht. Die Buchstaben „RE:“ deuten an, dass es sich bei der Nachricht um eine Antwort auf eine frühere Nachricht handelt. In der dritten Zeile sind schließlich die ersten 80 Zeichen der Nachricht zu lesen.

Zur besseren Lesbarkeit werden die Nachrichten abwechselnd mit grauer und weißer Farbe hinterlegt. Ist eine Nachricht neu und noch nicht gelesen worden, so wird als Hintergrundfarbe grün verwendet. Die komplette Nachricht kann sich der Benutzer durch Anwählen der Nachrichtenvorschau ansehen. Anstelle der Übersicht tritt dann eine Tabelle mit allen Nachrichten, die der Benutzer mit seiner Korrespondenz ausgetauscht hat. Auf der linken Seite sind die Nachrichten der Korrespondenzperson und auf der rechten Seite die Nachrichten des angemeldeten Benutzers angetragen. Die neuesten Nachrichten stehen auch hier ganz oben. Bei der Anzeige des Dialogs wird automatisch das Formular für den Nachrichtenversand an eine Einzelperson geöffnet. Somit kann sofort eine weitere Nachricht an diese Person versandt werden.

#### 5.3.4.7. Modul Dashboard

Das sogenannte „Dashboard“ ist die persönliche Startseite des Benutzers. Je nach Benutzergruppe passt sich das Dashboard entsprechend an.

Als Arzt werden Messwerte von zu behandelnden Patient aus den letzten sieben Tagen angezeigt, die sich in der Nähe oder über den persönlichen Grenzwerten des Patienten befinden. Die Sortierung erfolgt dabei so, dass die größten Grenzwertüberschreitungen ganz oben stehen, dort also der größte Handlungsbedarf besteht. Es wird pro Patient und Wertetyp nur der jeweils dringlichste angezeigt. Mögliche andere Überschreitungen der letzten Woche werden dann bei der Auswahl des Messwertes in der Liste sichtbar. Die Farbe der Vierecke vor dem Namen des Patienten ist ein Indikator für die Weite der Grenzwertüberschreitung. Orange bedeutet, dass der normierte Messwert sich im Bereich  $\pm 10\%$  des oberen oder unteren Grenzwertes befindet. Sollte er mehr als 10% über dem oberen oder 10% unter dem unteren Grenzwert liegen, wird ein rotes Viereck dargestellt. Die Normierung erfolgt dabei so, dass der Bereich vom unteren bis oberen Grenzwert auf einer Skala von -1 bis +1 liegt. Der Messwert wird nach folgender Formel 5.1 normiert (mit  $x_{min}$ : unterer Grenzwert,  $x_{max}$ : oberer Grenzwert):

$$x_{norm} = \frac{2 * (x - x_{min})}{x_{max} - x_{min}} - 1 \quad (5.1)$$

Zusätzliche Informationen über den Patienten kann der Arzt über die Auswahl des jeweiligen Messwertes erhalten. Die Ansicht ist in Abbildung 5.29 zu sehen.

In dieser Ansicht sind weitere Informationen über den Patienten bereitgestellt, sowie eine Darstellung der Messwerte der letzten Woche als Graph und als Tabelle.

Ist der angemeldete Benutzer ein Patient, wird eine einfache Ansicht des Dashboards angezeigt. Es entfällt dabei der Bereich mit der Patienteninformation. Sollte der Patient mehrere verschiedene Parameter messen, werden jeweils der Graph und die Tabelle der kritischsten Messwerte angezeigt.

#### 5.3.4.8. Modul Information

Zur Überwachung der Aktivitäten innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Datenbank stehen exklusiv für Systemadministratoren eine Mitschrift zur Verfügung, die „Update“- , „Insert“- sowie „Delete“-Befehle, also das Hinzufügen, Ändern und Löschen eines Eintrags, protokolliert. Bei jedem dieser Zugriffe speichert das System Datum und Uhrzeit, die IP-Adresse des Rechners, von der dieser Zugriff erfolgte, die Benutzer-ID des angemeldeten Benutzers und den exakten MySQL Befehl des Zugriffs. Für den Systemadministrator werden diese Informationen tabellarisch im COMES<sup>®</sup>-Webfrontend zur Verfügung gestellt.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

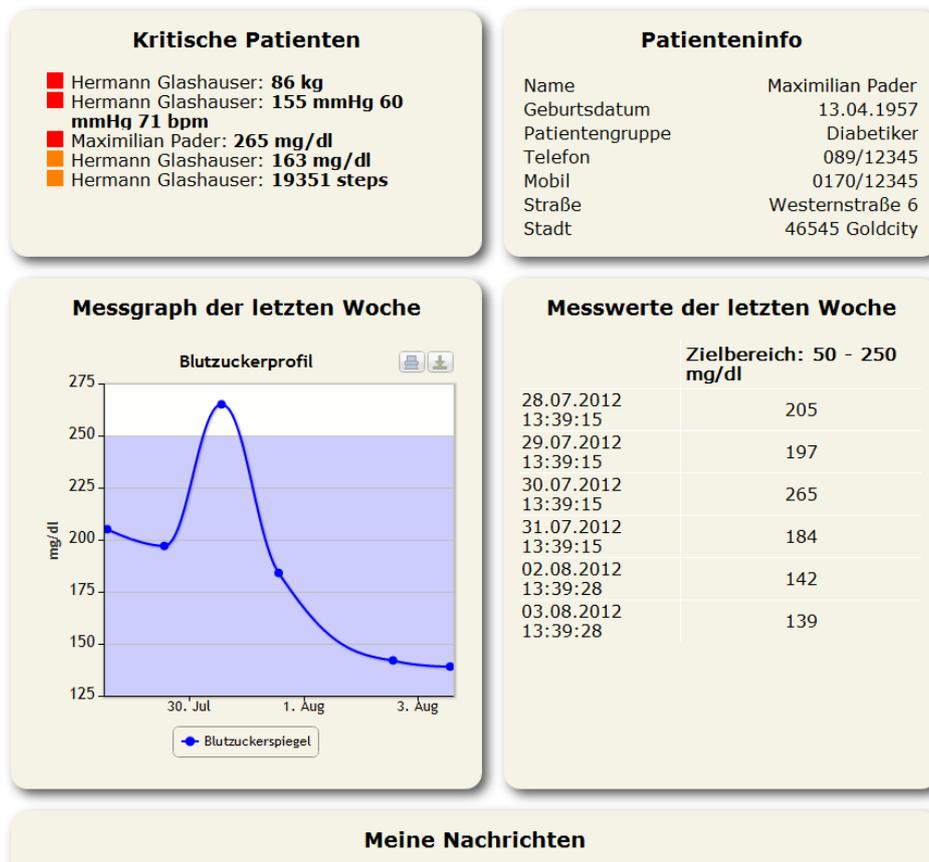


Abb. 5.29.: Ansicht des COMES<sup>®</sup>-Dashboards aus Sicht des Benutzers Arzt.

### 5.3.4.9. Modul Patientenmesswerte

Ein wichtiger Bestimmungszweck eines jeden telemedizinischen Assistenzsystems ist die Darstellung und Auswertung von Messwerten, die der Patient an die Datenbank mithilfe seiner persönlichen Assistenzgeräte übermittelt hat. Diese Aufgabe übernimmt im COMES<sup>®</sup>-Frontend das Modul „Messwerte“. Nur Benutzer, bei denen ein Patient in Behandlung ist, bzw. die Patienten selbst haben die Möglichkeit, das Modul über das Navigationsmenü aufzurufen.

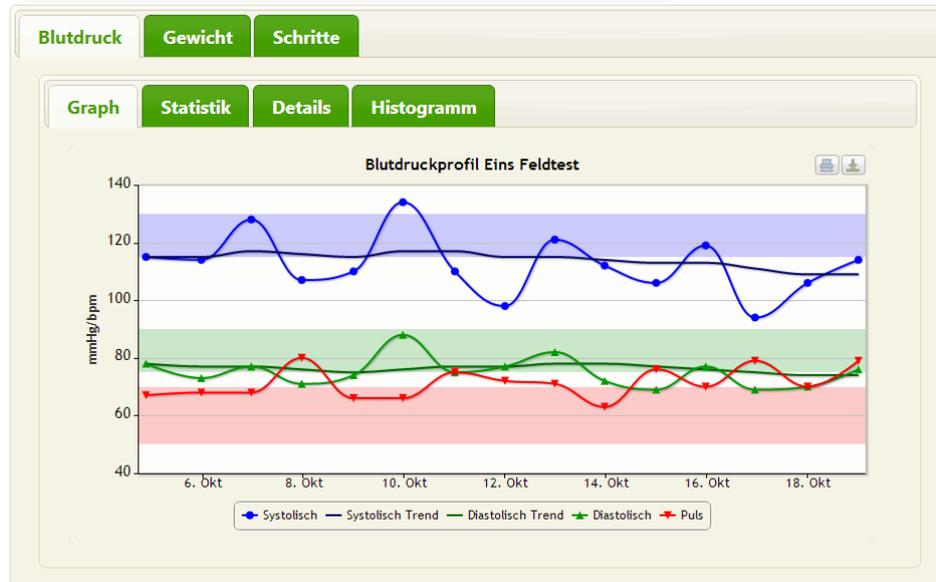
Bevor man die Messwerte ansehen kann, ist die Eingabe des Patientennamen sowie des Betrachtungszeitraumes im vorliegenden Formular anzugeben. Als Vorauswahl sind hier die letzten 30 Tage gewählt. Nach dem Abschicken des Formulars werden alle Messwerte des Patienten aus dem gewünschten Zeitraum gesammelt und nach Typ sortiert. Das Ergebnis stellt sich dem Benutzer anschließend wie in Abbildung 5.30 dar. Da die Messwerte einem echten Patienten entsprechen, ist der Patientename anonymisiert.

Der obere Abschnitt zeigt den Namen des Patienten und den gewählten Zeitraum. Zusätzlich sieht der Benutzer, aus welcher Patientengruppe und aus welcher Organisation der Patient ist

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

[zurück](#)

Patientendaten von: **Eins Feldtest**  
Zeitraum: vom **01.10.2013** bis **21.10.2013**  
Patientengruppe: **Feldtest Okt 2013**  
Organisation: **LME TU München**  
Messkitnummer: **17**  
[Diesem Patienten eine Nachricht schicken](#)



**Abb. 5.30.:** Ansicht der Patientenmesswerte.

und welches Messkit ihm derzeit zugeordnet ist. Im unteren Teil sind die Messwerte dargestellt. Dabei werden sie nach Typ, also bspw. Blutdruck, Gewicht und Schritte, in einzelne Reiter aufgeteilt. Für jeden Messwert können ein Graph, eine statistische Auswertung der Messwerte, die Messwerte in tabellarischer Form als Details sowie ein Histogramm angezeigt werden.

Der Graph vermittelt den schnellsten Überblick über die Entwicklung der Messwerte. Die einzelnen Linien sind farblich getrennt und könne ein- und ausgeblendet werden. Bewegt man den Mauszeiger über die Punkte der einzelnen Messwerte, so werden Datum und Uhrzeit sowie der Messwert in einem kleinen Fenster angezeigt. Der farbige Bereich, wie bspw. in Abbildung 5.30 der hellblaue Bereich für den systolischen Wert im Bereich 115 mmHg und 130 mmHg, spiegelt den vom Arzt vorgegebenen Zielbereich wider. Zusätzlich zur reinen Darstellung der Messwerte ist noch eine weitere Linie dargestellt, die den Trend angibt. Damit kann der Anwender auf einen Blick erkennen, ob die letzten Messwerte eher steigend oder fallend sind und dementsprechend reagieren. Diese Trendkurve errechnet sich jeweils gemäß der doppelten exponentiellen Glättung, wie sie in Kapitel 4.1 beschrieben ist. Der in Formel 4.4 notwendige Glättungsfaktor  $\alpha$  wurde für diese Berechnungen empirisch mit einem Wert von 0,35 ermittelt.

Zur Darstellung der Graphen wird auf die Javascript Bibliothek Highcharts [146] zurückge-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

griffen. Wie bereits angedeutet, ist der Verlauf der Messparameter über die Zeit angetragen. Zusätzlich können die Graphen als PDF, JPEG, PNG oder SVG exportiert und damit u.a. ausgedruckt werden. Schließlich ist das Vergrößern eines Zeitraums durch einfache Auswahl mit dem Mauszeiger möglich.

Die graphische Darstellung der Aktivität bietet neben der Anzahl der gelaufenen Schritte auch einen ungefähren Wert für die verbrauchten Kalorien. Die zugrunde liegende Formel 5.2 benötigt neben der Schrittzahl auch das aktuelle Gewicht des Patienten und ist aus [147] entnommen:

$$\frac{E_{trans}}{M_b} = 7,98 M_b^{-0,29} \left[ \frac{J}{mkg} \right] \quad (5.2)$$

( $M_b$ : Körpergewicht in kg,  $E_{trans}$ : Energieverbrauch pro Meter)

Demnach hat eine 80 kg schwere Person pro gelaufenen Meter einen Energieumsatz von 179,1 Joule. Umgerechnet in kcal ( $1kcal = 4.1868kJ$ ) sind das 0,04278kcal pro gelaufenen Meter. Der errechnete Gesamtumsatz ergibt sich dann aus der Schrittzahl mal der Schrittlänge, die in diesem Beispiel 0,74 Meter pro Schritt beträgt. Das benötigte Gewicht kann wiederum über eine Waage, die bei COMES<sup>®</sup> zur Verfügung steht, ermittelt werden. Die Schrittlänge ihrerseits muss vorher bestimmt werden.

Neben der graphischen Darstellung werden statistische Informationen über die Messwerte angeboten. Dies sind Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum (jeweils mit Datum und Uhrzeit) und Anzahl der Messwerte. Des Weiteren existiert eine Tabelle mit den einzelnen Messwerten und den dazugehörigem Datum und Uhrzeit. Diese Tabelle ist ebenfalls exportierbar und im Bereich „Details“ einsehbar. Schließlich wird im Histogramm die prozentuale Verteilung der Messwerte dargestellt. Da ein Histogramm der exakten Messwerte im Extremfall eine Gleichverteilung ergäbe, werden hier gerundete Werte genommen. Die Werte für Blutdruck, Gewicht und Blutzucker werden dabei auf ganze Zehner, die Werte der Schritte auf ganze Tausender gerundet.

### 5.3.4.10. Modul Report

Das Modul „Report“ ist eine Generalisierung des Moduls „Patientenmesswerte“ und dient zur statistischen Auswertung aller Patienten, die innerhalb einer Organisation betreut werden. Dazu werden moderne OLAP-Methoden, wie sie in Kapitel 4.3 beschrieben sind, angewandt.

Mit Hilfe eines einfachen Filters kann man verschiedene Einschränkungen treffen: neben der Diagnose, die bisher auf keine Diagnose, alle Diagnosen und dem Metabolischen Syndrom beschränkt ist, und der Auswahl von Vorerkrankungen bei den Eltern, ebenfalls auf das Metabolische Syndrom beschränkt, lassen sich die gewünschten Ergebnisse noch nach Geschlecht,

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Alter sowie der Körpergröße filtern. Schließlich kann nach Übereinstimmung von bis zu fünf Messwerten gesucht werden, deren Werte innerhalb eines bestimmten Wertebereichs liegen, die in einer anzugebenden Anzahl aufeinanderfolgender Messungen aufgetreten sind. Ein Beispiel für den systolischen Blutdruck zeigt Abbildung 5.31.

### Filter wählen

**Diagnose**

keine Diagnose gestellt

**Vorerkrankungen bei Eltern**

alle Daten anzeigen

**Geschlecht**

Männlich  
 Weiblich

**Alter**

von:   
bis:

**Größe (cm)**

von:   
bis:

**Messwertfilter**

Systolischer Blutdruck liegt im Bereich von  bis  für  aufeinanderfolgende Messungen

keiner liegt im Bereich von  bis  für  aufeinanderfolgende Messungen

keiner liegt im Bereich von  bis  für  aufeinanderfolgende Messungen

keiner liegt im Bereich von  bis  für  aufeinanderfolgende Messungen

keiner liegt im Bereich von  bis  für  aufeinanderfolgende Messungen

Patientenliste
Diagnose
Eltern
Geschlecht
Alter
Größe

Patient (5)	Diagnose	Optionen
003, SR		<input type="checkbox"/> vergleichen   Messwerte des letzten Monats
Demopatient, Demo		<input type="checkbox"/> vergleichen   Messwerte des letzten Monats
Koffer 3, Kempten		<input checked="" type="checkbox"/> vergleichen   Messwerte des letzten Monats
Koffer 9, Kempten		<input type="checkbox"/> vergleichen   Messwerte des letzten Monats
IEM, Two		<input type="checkbox"/> vergleichen   Messwerte des letzten Monats
		<input type="button" value="vergleichen"/>

**Abb. 5.31.:** Ansicht des COMES<sup>®</sup>-Reports für den systolischen Blutdruck im Bereich von 140mmHg bis 150mmHg für fünf aufeinanderfolgende Messungen.

Als Ergebnis wird unterhalb des Filters die „Patientenliste“ als Tabelle sowie die Reiter „Diagnose“, „Eltern“, „Geschlecht“, „Alter“ und „Größe“ aufgelistet. Innerhalb der Patientenliste, die den Patientennamen sowie die Diagnose auflistet, besteht noch die Möglichkeit, die einzelnen Patienten miteinander zu vergleichen. Damit ist es auf einen Blick möglich, Name, Geschlecht, Alter, Körpergröße, das Vorhandensein des Metabolischen Syndroms sowie elterlicher Vorerkrankungen zu erkennen und gegeneinander zu vergleichen.

Im Bereich „Diagnose“ wird ein Kreisdiagramm angezeigt, das die prozentuale Verteilung der Diagnosestellung wiedergibt. Ebenso verhält es sich für die Bereiche „Eltern“ und „Geschlecht“. Die Parameter „Größe“ und „Alter“ werden hingegen als Balkendiagramme dargestellt.

### 5.3.4.11. Modul Empfehlung

Die bisher genannten Module geben die Eintragungen in der COMES<sup>®</sup>-Datenbank mehr oder weniger gefiltert wieder. In manchen Fällen, wie beispielsweise der Trendgerade für Messwerte, werden einfache Berechnungen angestellt. Ein wenig anders verhält es sich im Modul „Empfehlungen“. Dort werden Data Mining Algorithmen verwendet, um Informationen über die bloße Darstellung von Datenbankinhalten hinaus anzuzeigen.

Ziel ist es, Empfehlungen auf Grundlage unterschiedlicher Parameter und Messwerte von der Gesamtheit der Patienten sowie bereits von Ärzten verifizierte und ausgesprochene Empfehlungen zu erzeugen. Diese Empfehlungen werden dem Arzt zur Verfügung gestellt. Es obliegt jedoch dem Arzt, eine Empfehlung anzunehmen oder seine eigenen Therapieziele in das Patientenprofil einzutragen. Abbildung 5.32 veranschaulicht dieses Vorgehen.

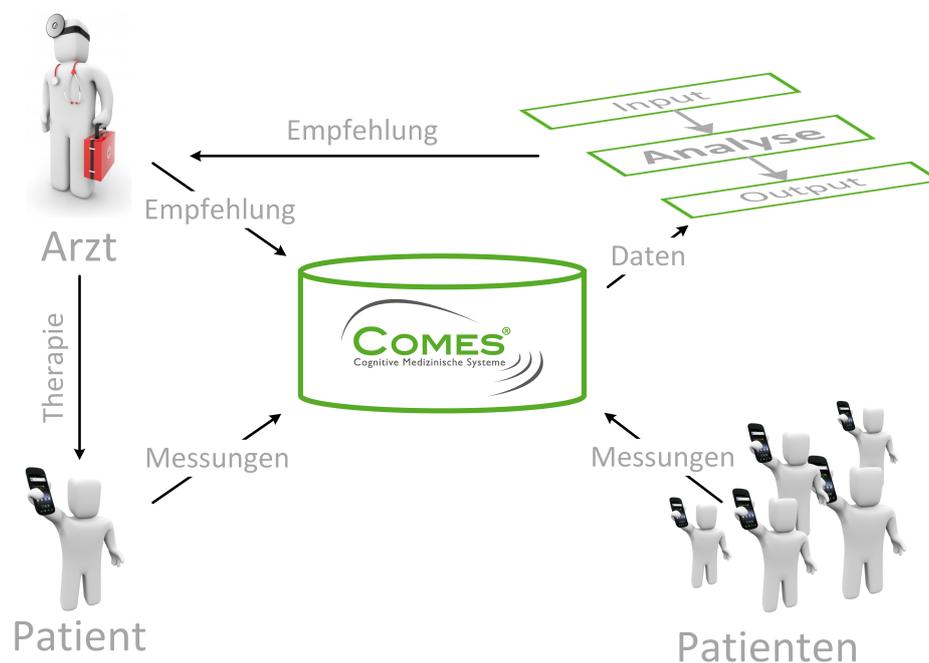


Abb. 5.32.: Systematische Darstellung für automatisch generierte Empfehlungen.

Das Modul „Empfehlung“ ist somit die Benutzerschnittstelle, um Empfehlungen angezeigt zu bekommen und zu bestätigen. In dieser Arbeit wurde ein bestimmter Anwendungsfall umgesetzt, wobei das COMES<sup>®</sup>-System um weitere Anwendungsfälle leicht erweitert werden kann. Dieser Anwendungsfall behandelt Empfehlungen zur körperlichen Aktivität. Es wird demnach auf Grundlage patientenspezifischer Parameter, wie Alter, Geschlecht, Körpergröße, Gewicht, Blutdruckdaten sowie gelaufener Schritte, und bereits vorhandener Empfehlungen ermittelt, wie viele Schritte der Patient pro Tag laufen sollte. Dieser scheinbar triviale Fall ist vor allem hinsichtlich der Motivation des Patienten, diese Therapie durchzuführen, von

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Bedeutung. Viele der zu behandelnden Patienten haben eine geringe Motivation, sich zu bewegen, da sie entweder Schmerzen haben oder sich schon lange nicht mehr regelmäßig und bewusst bewegt haben. Wählt man nun die Zielvorgaben zu groß, kann das angestrebte Ziel nicht in adäquater Zeit erreicht werden. Dies führt häufig zum Abbruch der Therapie. Sind die Ziele hingegen zu gering, wiegen sich Patienten in einer Art Sicherheit und glauben deswegen, sich nicht mehr anstrengen zu müssen.

Die Darstellung des Moduls „Empfehlung“ ist in Abbildung 5.33 zu sehen.

zurück

Patient: **Maximilian Pader**  
Zeitraum: vom **01.08.2013** bis **08.04.2014**  
Patientengruppe:  
Organisation: **HNI Paderborn**  
Messkitnummer: **1000**  
[Patientenmessdaten für diesen Zeitraum anzeigen](#)

**Bisherige Empfehlungen** **Bewegungsprofil** **Vorgeschlagene Empfehlung**

Auf der Grundlage unten aufgeführter Werte der letzten Messung, wurde ein Vorschlag für die Empfehlung an den Patienten ermittelt

Systolischer Blutdruck: 152 mmHg  
Diastolischer Blutdruck: 102 mmHg  
Puls: 93 bpm  
BMI des Patienten: 27  
Alter des Patienten: 50 Jahre

**Vorschlag**

Bewegen Sie sich mindestens 4000 Schritte (Vorhersagesicherheit: 77.2 %)

**Alternative Möglichkeiten**

Bewegen Sie sich mindestens 6000 Schritte

Bewegen Sie sich mindestens 8000 Schritte

Bewegen Sie sich mindestens 10000 Schritte

**Abb. 5.33.:** Ansicht automatisch von COMES<sup>®</sup> generierter Empfehlungen zur Bewegungsintensität.

Zunächst wählt der Arzt sowohl den Patienten als auch den zu betrachtenden Zeitraum aus. Als Ergebnis erhält er eine Übersicht bisherig ausgesprochener Empfehlungen, eine graphische Übersicht empfohlener und tatsächlich erreichter Schritte sowie eine Auswahl an Empfehlungen. An dieser Stelle kann der Arzt die angezeigte Empfehlung auswählen oder sich für eine alternative Empfehlung entscheiden. Hinter der angezeigten Empfehlung wird als zusätzliche Information die Vorhersagesicherheit in Prozent angegeben.

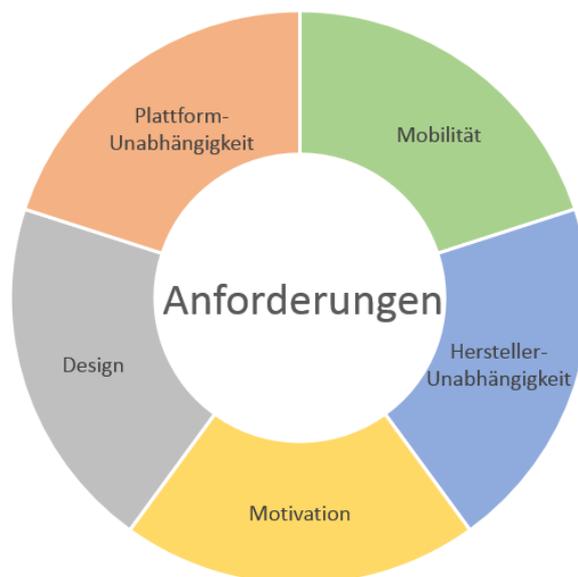
## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Die zuletzt genannten Module „Report“ und „Empfehlung“ wurden im Forschungsprojekt Kompass, gefördert von der Heinz Nixdorf Stiftung, in Kooperation mit dem Heinz Nixdorf Institut in Paderborn gemeinsam entwickelt. Einzelheiten zu diesem Forschungsprojekt finden sich im Abschlussbericht [21].

### 5.3.4.12. Diabetes-Management (optional)

Während es vor wenigen Jahren noch üblich war, die *Dokumentation* des Therapieverlaufs einer Diabeteserkrankung mit Stift und Papier festzuhalten, sind vor allem mit Aufkommen der Smartphones bzw. Tablet-Computer, Systeme entstanden, mit deren Hilfe die Dokumentation der Therapie auf elektronischem Weg erfolgen kann. Deshalb wird im Rahmen eines Projektes ein Modul für das Diabetesmanagement in das bestehende COMES<sup>®</sup>-System eingebunden.

Nachfolgend wird das Konzept und die Umsetzung des Diabetesmanagement-Moduls auf Basis von [148] kurz dargestellt.



**Abb. 5.34.:** Anforderungen an das COMES<sup>®</sup>-Diabetesmanagementtool

Neben den in COMES<sup>®</sup> allgemeingültigen Anforderungen der Plattform- und Herstellerunabhängigkeit sowie der Mobilität sind für ein Diabetesmanagement-Modul im Besonderen die Anforderungen nach Motivation und Design hervorzuheben. Eine graphische Aufbereitung der Anforderungen befindet sich in Abbildung 5.34.

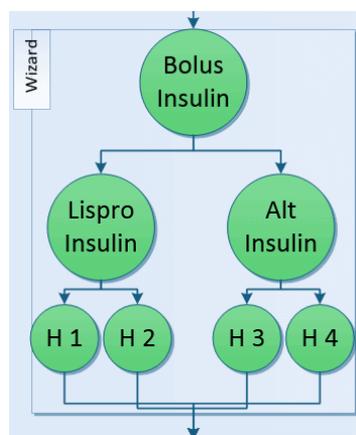
Zu Beginn soll der Anwender die Art seiner Diabetes-Erkrankung, also Diabetes mellitus Typ 1 oder Diabetes mellitus Typ 2 auswählen. Um die Übersicht zu gewährleisten, wird im

## 5. COMES®- ein telemedizinisches Assistenzsystem

weiteren Verlauf dieser Beschreibung nur auf die Eingabe der Diabetes mellitus Typ 1 Daten eingegangen. Die Eingabe der Daten für Diabetes mellitus Typ 2 erfolgt analog.

Nach dieser Auswahl können vom Anwender spezifische Diabetes Daten eingetragen werden. Um dies komfortabel zu ermöglichen, wird mittels Scroll-down Menü eine Auswahl zwischen der „intensivierte konventionellen Insulintherapie (ICT)“ bzw. der „kontinuierlichen subkutanen Insulininfusion (CSII)“, der sogenannten Pumpentherapie, gefordert. Im Falle der Auswahl der ICT findet sich der Patient in einem sogenannten „Wizard“ wieder. Dies ist ein Assistent zur Bearbeitung verschiedener Aufgaben.

Das Konzept eines derartigen Wizard zur Auswahl des „Bolus Insulins“ ist in Abbildung 5.35 dargestellt.



**Abb. 5.35.:** Konzeption zur Auswahl des Bolus Insulins

Zur Erläuterung ist anzufügen, dass die Abkürzungen „H 1“, „H 2“, „H 3“, „H 4“ in diesem Zusammenhang als Abkürzungen für Insulinhersteller stehen.

Die Wizards nach der Auswahl der ICT sind in der Reihenfolge *Bolus Insulin*, *Basal Insulin* und schließlich *Festlegung der Zeitblöcke* angeordnet. Der Aufbau der Wizards im Falle der CSII (Pumpentherapie) ist ähnlich gehalten. Einziger Unterschied ist, dass der Wizard für das Basal Insulin entfällt.

Mit einer Bestätigung der eingegebenen und ausgewählten Werte gelangt der Benutzer automatisch in die **Auswertung**. Dieser Menüpunkt ist zweigeteilt. Auf der einen Seite kann hier für einen Patienten mit Diabetes mellitus Typ 1, der mittels der CSII behandelt wird, die Anlage der *Basalrate* geschehen. Im Falle der ICT kann die Abgabe des Basalinsulins hinzugefügt werden. Liegt ein Diabetes mellitus Typ 2 vor, entfällt der Punkt mit der Eingabemöglichkeit der Basalrate bzw. des Basalinsulins und es zeigt sich nur das im Folgende beschriebene *Tagebuch*.

Einerseits soll der Anwender im Tagebuch eingegebene Diabetesdaten mittels eines Graphen

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.36.:** Konzeption der Seite zur Eintragung von Daten, wie Sport oder Mahlzeiten, für das COMES<sup>®</sup>-Diabetesmanagementtool.

betrachten. Andererseits soll eine Dateneingabe möglich sein. Das Konzept dazu ist in Abbildung 5.36 dargestellt. Neben Blutzuckerwerten können Sport, Mahlzeiten, die TBR (Temporäre Basalratensenkung) und Umwelteinflüsse manuell eingetragen werden.

Das Ergebnis dieser Umsetzung ist in Abbildung 5.37 zu sehen. Dort kann die Aufteilung der Menüs sowie grafisch der aktuelle Blutzuckerwert abgelesen werden.

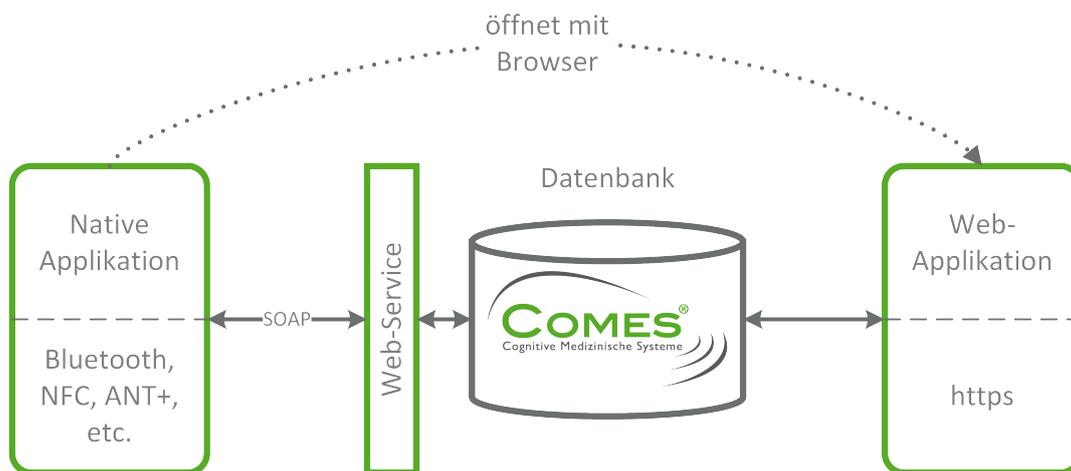


**Abb. 5.37.:** Ansicht des Tagebuchs mit Blutzuckerwerten im Modul Diabetesmanagement.

### 5.3.5. Smartphone Applikation

Das in Kapitel 5.3.4 vorgestellte COMES<sup>®</sup>-Webfrontend bietet viele Möglichkeiten, die im Besonderen für den Patienten nicht von Bedeutung sind bzw. weder einsehbar noch veränderbar sein sollen. Aus diesem Grund wurde eine eigene Anwenderschnittstelle, die sich hervorragend für Smartphones und Tablets eignet, erstellt. Diese Anwenderschnittstelle ist wiederum browserbasiert. Dies bedeutet, dass zum Anzeigen dieser Webseite eine sogenannte Web-Applikation erstellt werden muss.

Als weitere und besonders hervorstechende Aufgabe soll das Smartphone bzw. Tablet die Schnittstelle zwischen medizinischem Sensor und der COMES<sup>®</sup>-Datenbank realisieren. Demnach ist eine Applikation gefordert, die zu jeder Zeit auf eingehende Daten über Funkchnittstellen, wie Bluetooth oder NFC, reagiert, diese Daten verarbeitet und an die COMES<sup>®</sup>-Datenbank mit Hilfe des SOAP-Protokolls (vgl. Kapitel 5.3.3) weiterleitet. Abbildung 5.38 verdeutlicht diese Zweiteilung der COMES<sup>®</sup>-Applikation zwischen nativer und Web-Applikation und skizziert die benötigten Datenflüsse.



**Abb. 5.38.:** Schematische Darstellung der COMES<sup>®</sup>-Smartphone-Applikation

Im Folgenden werden diese zwei Bestandteile der Smartphone-Applikation beschrieben.

#### 5.3.5.1. COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für mobile Handheld-Geräte

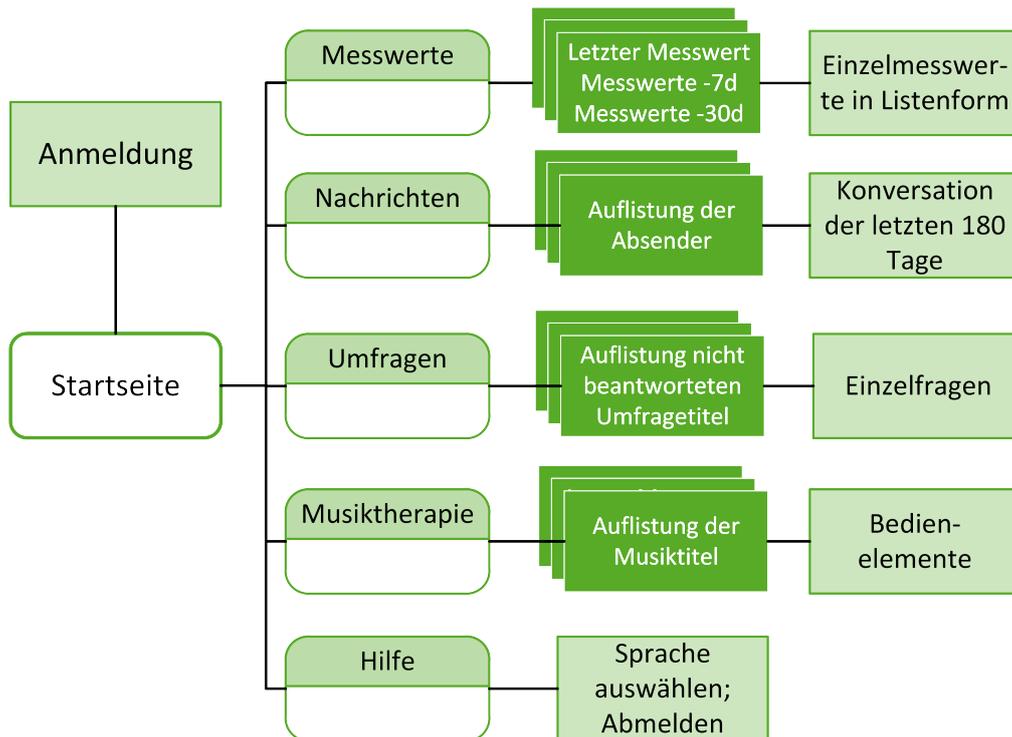
Aufgabe der Web-Applikation ist es, dem Patienten nur die nötigsten Informationen auf übersichtliche und intuitive Art und Weise an die Hand zu geben. Damit soll vor allem der möglichen technischen Überforderung des Patienten vorgebeugt werden. Zu den wichtigsten und für den Patienten unverzichtbaren Bereiche gehören:

- Messwerte

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

- Nachrichten
- Umfragen
- Hilfe

Für die Programmierung der Web-Applikation wird das Zend-Framework für die php-Programmierung sowie das HTML5- Framework für mobile Web-Applikationen jQuery Mobile verwendet. In Abbildung 5.39 ist das Konzept für die Web-Applikation zu sehen.



**Abb. 5.39.:** Schematische Darstellung der COMES<sup>®</sup>-Webseite für Smartphones und Tablets

Zunächst muss sich der Anwender mit seinen gültigen Zugangsdaten anmelden. Dafür wird die Bibliothek Zend\_Auth verwendet. Ist die Anmeldung erfolgreich, so wird diese in der COMES<sup>®</sup>-Datenbank mit Zeitstempel und SessionID hinterlegt. Der Nutzer wird anschließend auf die Menüseite weitergeleitet. Alle benötigten Daten werden mittels Ajax von der Datenbank abgefragt und auf die HTML-Seite nachgeladen. Hier hat er die Möglichkeit, seine Messwerte im Menü *Analyse*, vorhandene *Nachrichten* oder *Umfragen* bzw. *Fragebögen* sowie die *Hilfeseite* anzusehen. Hinter den Menüpunkten *Nachrichten* und *Umfragen* wird die Anzahl noch nicht gesehener Nachrichten bzw. unbeantworteter Umfragen angezeigt. Berührt man einen dieser Menüpunkte, so öffnet sich das entsprechende Untermenü.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Im Untermenü Analyse werden alle vorhandenen Messwerte der letzten 30 Tage angezeigt. Die benötigten Daten werden mit Hilfe einer Datenbankabfrage über Ajax in die HTML-Seite nachgeladen. Der Nutzer sieht nun im oberen Bereich eine Menüstruktur mit selbsterklärenden Symbolen, ein sogenanntes Grid-Menü, wodurch er die einzelnen Messparameter, wie Blutdruck oder Gewicht, auswählen kann. Unterhalb des Menüs wird der entsprechend letzte erhobene Messwert mit Datum und Uhrzeit angezeigt. Darunter ist ein Graph mit den Messwerten der letzten sieben Tage, falls Daten innerhalb dieses Zeitraumes vorhanden sind, abgebildet. Am unteren Ende der Seite ist der selbe Graph für die Messwerte der letzten 30 Tage zu sehen. Sollten keine Werte innerhalb der letzten 30 Tage vorliegen, so wird das Menü für bspw. Blutzucker nicht angezeigt. Dadurch wird vermieden, dass unnötige Daten wiedergegeben werden.

Wie bereits erwähnt, steht neben dem Hauptmenüpunkt Nachrichten die Anzahl der noch ungelesenen, also neuen Nachrichten. Wählt der Anwender diesen Hauptmenüpunkt aus, so werden zunächst die Absender angezeigt, die dem Anwender innerhalb der letzten 180 Tage eine Nachricht zugesandt haben. Sollte eine noch ungelesene Nachricht vorliegen, so kennzeichnet dies ein grüner Balken vor dem bzw. den entsprechenden Namen. Auf der nächsten Seite kann der Nutzer alle alten und neuen Nachrichten dieser Person lesen, wobei die Sortierung chronologisch, vom aktuellen Datum aus absteigend erfolgt. Die Nachrichten enthalten das Datum, den Absender, die Uhrzeit sowie den Betreff und die eigentliche Nachricht. Sollte der Anwender vom System her die Möglichkeit besitzen, auf Nachrichten zu antworten, so erscheint am unteren Ende ein Feld zur Eingabe von Nachrichten.

Bei Umfragen wird ebenfalls neben dem Hauptmenüpunkt die Anzahl der noch nicht beantworteten und versandten Umfragen bzw. Fragebögen angezeigt. Die nächste Seite listet die unbeantworteten Fragebogentitel. Berührt der Anwender einen dieser Titel, so erreicht er die erste Frage. Nach deren Beantwortung kann er durch Tippen auf „Weiter“ die nächste Frage ansehen. Mit Hilfe der Zurück-Taste kann er eine frühere Frage korrigieren. Bei der Beantwortung der Fragen kann der Anwender, je nach Fragetyp, entweder eine Antwort oder mehrere Antworten auswählen oder einen individuellen Text eingeben. Hat der Anwender die letzte Frage des Fragebogens erreicht, so übermittelt er diesen an das COMES<sup>®</sup>-Center .

Hinter dem Hauptmenüpunkt „Hilfe“ verbergen sich zum einen rechtliche Hinweise zu Bilddateien, zum anderen die Möglichkeit der Sprachauswahl und die Abmelden-Taste. Derzeit stehen deutsch und englisch als Sprachen zur Auswahl.

Bisher ist kein automatisches Update der Inhalte implementiert. Dies bedeutet, dass die Daten entweder nach dem Anmelden oder durch Tippen auf die Neu-Laden-Taste bzw. der Home-Taste aktuell aus der Datenbank abgerufen werden.

### 5.3.5.2. Native COMES<sup>®</sup>-Applikation auf Basis des Betriebssystem Android

Während die soeben beschriebene Web-Applikation auf jedem Smartphone oder Tablet, ja sogar auf jedem browserfähigen Gerät wie einem Computer verwendet werden kann, so erfolgt

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

die Kommunikation mit den Funkschnittstellen und dem COMES<sup>®</sup>-Center auf nativer Ebene. Es muss daher für jedes Betriebssystem die benötigte Applikation separat programmiert werden. Das Konzept dafür ist jedoch gleich. Bei der Konzepterstellung war es wichtig, die Modularität der einzelnen Funktionen zu wahren und, im Falle dieser Arbeit, sich an die von Android vorgegebenen Design-Konzepte zu orientieren.

Die nachfolgenden Beschreibungen sind teilweise aus [149] entnommen.

Auf Abbildung 5.40 ist gut zu erkennen, dass die Applikation aus drei Blöcken besteht: Datenempfang und -abfrage (blauer Hintergrund), Datenverarbeitung (grüner Hintergrund) und Darstellung (weißer Hintergrund). Entsprechend den Komponenten des Android Frameworks sind dabei die beiden Blöcke Datenempfang und -abfrage sowie Datenverarbeitung als Services zu betrachten und die Darstellung als Activity. Der Vollständigkeit halber ist der Block „Broadcast Receiver“ dargestellt, der Systemereignisse registriert.

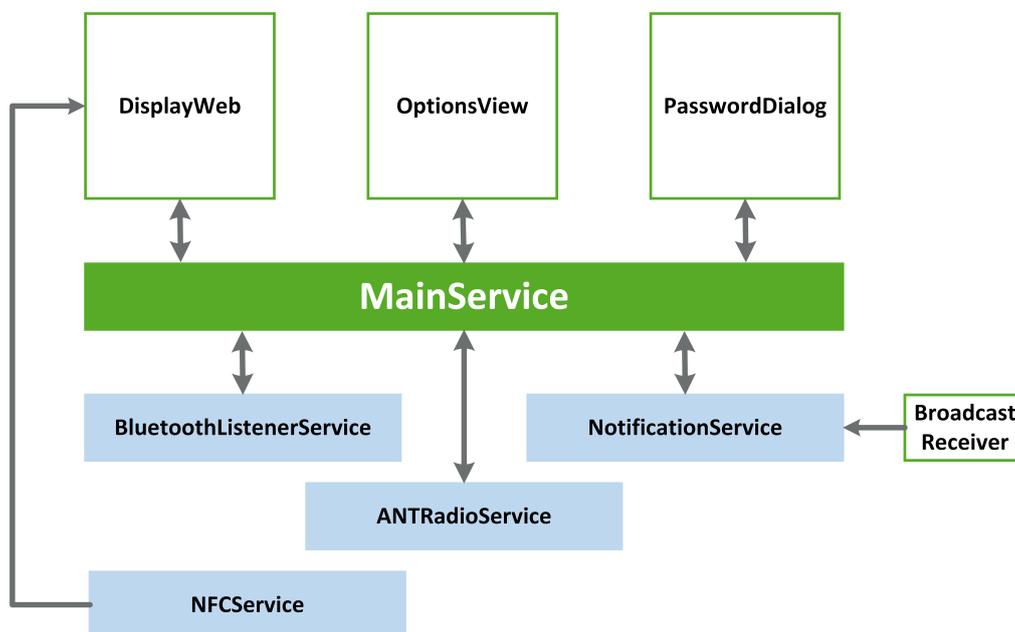


Abb. 5.40.: Konzept der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

Auf der untersten Ebene befindet sich der Datenempfangs- und -abfrage-Block. Dieser besteht aus dem *BluetoothListenerService*, dem *NotificationService*, dem *ANTRadioService* sowie dem *NFCService*. Die erstgenannten sind alle drei als Service implementiert, die permanent im Hintergrund laufen. Der *BluetoothListenerService* öffnet einen Bluetooth-Port für eingehende Verbindungen und beinhaltet die notwendigen Routinen, um Verbindungen zu initiieren. Dies erfolgt entweder durch den Nutzer selbst oder auf Anfrage höherer Schichten. Sobald Daten empfangen werden, wird darin neben der gesamten Bluetooth-Kommunikation das Entpacken der Daten gemäß des jeweiligen Protokolls durchgeführt. Der *NotificationSer-*

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

vice hingegen stellt stündlich eine Anfrage an den COMES<sup>®</sup>-Webservice, ob neue ungelesene Nachrichten verfügbar sind. Im ANTRadioService wird ebenfalls ein Port für eingehende Verbindungen geöffnet. Darin enthalten sind die Routinen für einen Verbindungsaufbau. Der NFCService schließlich ist android-spezifisch und muss nicht als eigener Dienst in die Applikation implementiert werden. Empfängt das Smartphone Daten eines bestimmten NFC-Typs, so wird die COMES<sup>®</sup>-Applikation gestartet und die empfangenen Daten innerhalb der Activity „DisplayWeb“ ausgelesen.

In der mittleren Ebene ist die Datenverarbeitung beheimatet. Diese wird vom sogenannten MainService repräsentiert. Der MainService ist ebenfalls als Hintergrunddienst implementiert, ist aber im Gegensatz zum Datenempfangs- und -abfrage-Block nur - falls nötig - aktiv. Dieser Block dient als Sammelstelle sämtlicher externer Datenströme, wie Messwerte über Bluetooth oder NFC, Anfragen an den Webservice oder Nutzereingaben, und ist Quelle für Datenströme in Richtung Nutzer, z.B. Bedienoberfläche (GUI), oder COMES<sup>®</sup>-Center, z.B. Anmeldeeingaben durch den Nutzer. Zum Block der Datenverarbeitung zählt auch das Interface zur Datenbank, da dieses für den Nutzer unsichtbar im Hintergrund verwendet wird.

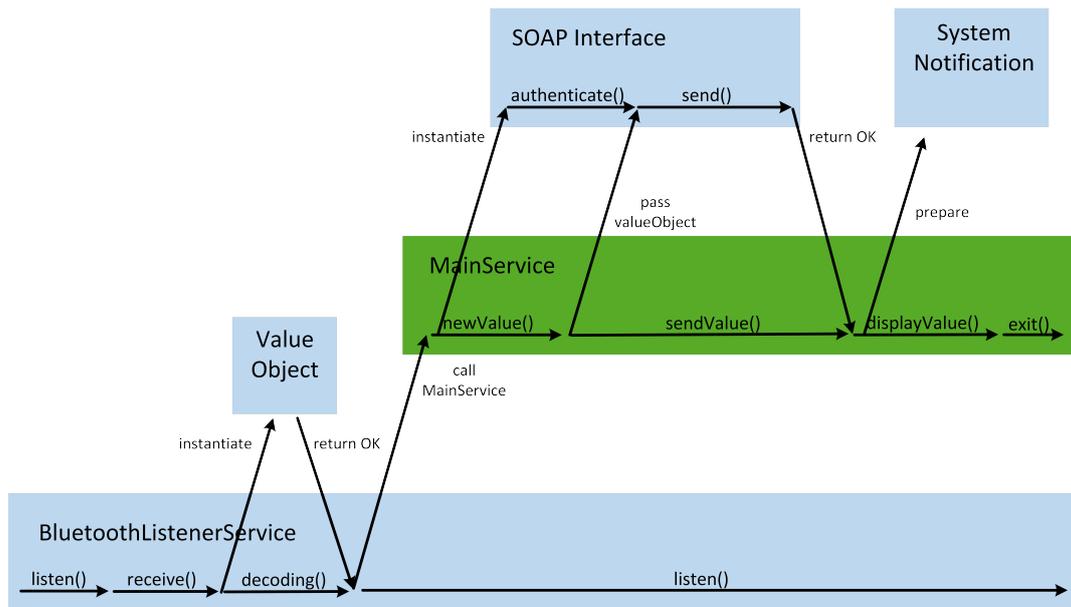
Die Bedienoberfläche, auch Graphical User Interface (GUI) genannt, wird mittels verschiedener sogenannter Activities realisiert. Ziel ist es, möglichst wenig Funktionalität in den Activities zu haben, sondern diese vielmehr in den Block der Datenverarbeitung zu integrieren. Dies geht soweit, dass Tasten im Optionsmenü, z.B. „Benutzername und Passwort ändern“, direkt an den Block der Datenverarbeitung weitergereicht und von diesem ausgewertet werden. Das Interface zwischen der Datenverarbeitung und den Activities wird, soweit möglich, vereinheitlicht. Da es sich bei der COMES<sup>®</sup>-Applikation, wie bereits in Kapitel 5.3.5.1 erwähnt, auch um eine Web-Applikation handelt, wird die Internetseite innerhalb der DisplayWeb-Activity angezeigt. Zudem findet dort der Aufruf zum Auslesen der NFC-Daten statt, die im MainService verarbeitet werden.

Als letzter und nicht zu den erwähnten drei zählenden Blöcken ist der Block *Broadcast Receiver* aufgezeigt. Dieser dient dazu, System-Ereignisse zu registrieren und entsprechend zu handeln. So ist beispielsweise der Receiver notwendig, um den Systemstart zu erkennen und den Datenempfangs- und -abfrage-Block zu starten. Innerhalb des BluetoothListenerService ist es zudem nötig, Änderungen am Bluetooth-Modul des Systems zu überwachen, wenn z.B. der Nutzer oder eine andere Applikation Bluetooth ausschaltet.

Mit der gewählten Aufteilung der Applikation in die oben beschriebenen Blöcke ist die geforderte Modularität gegeben. Zukünftige Änderungen, zum Beispiel eine Anpassung der Bedienoberfläche auf Tablet-Geräte, kann leicht implementiert werden, da nur die entsprechenden Activities getauscht werden müssen.

Zur Verdeutlichung des Konzepts und des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten, zeigt Abbildung 5.41 beispielhaft das Empfangen und Verarbeiten eines neuen Messwerts. Die in den Blöcken verwendeten Funktionsnamen sind als abstrakte Zustände zu sehen.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.41.:** Ablauf beim Empfangen neuer Daten innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

Sobald das Smartphone gestartet wird, wird der Block zur Bluetooth-Verarbeitung in einen sogenannten Listen()-Zustand versetzt, das bedeutet, er wartet auf eingehende Verbindungen. Zu einem beliebigen Zeitpunkt baut nun ein Gerät eine Verbindung zu dem offenen Port auf und beginnt Daten zu übertragen. Damit ändert sich der Zustand des Bluetooth-Blocks zum Receive()-Status und empfängt eingehende Daten. Nachdem alle Daten übertragen wurden, werden diese decodiert. Dies erfolgt in separaten Klassen für die jeweiligen Messgeräte. Daraufhin werden die Daten, mittlerweile als neues Daten-Objekt verfügbar, auf korrekten Inhalt hin überprüft und der Datenverarbeitungsblock gestartet. Der Block zur Bluetooth-Verarbeitung geht danach wieder in den Listen()-Zustand über.

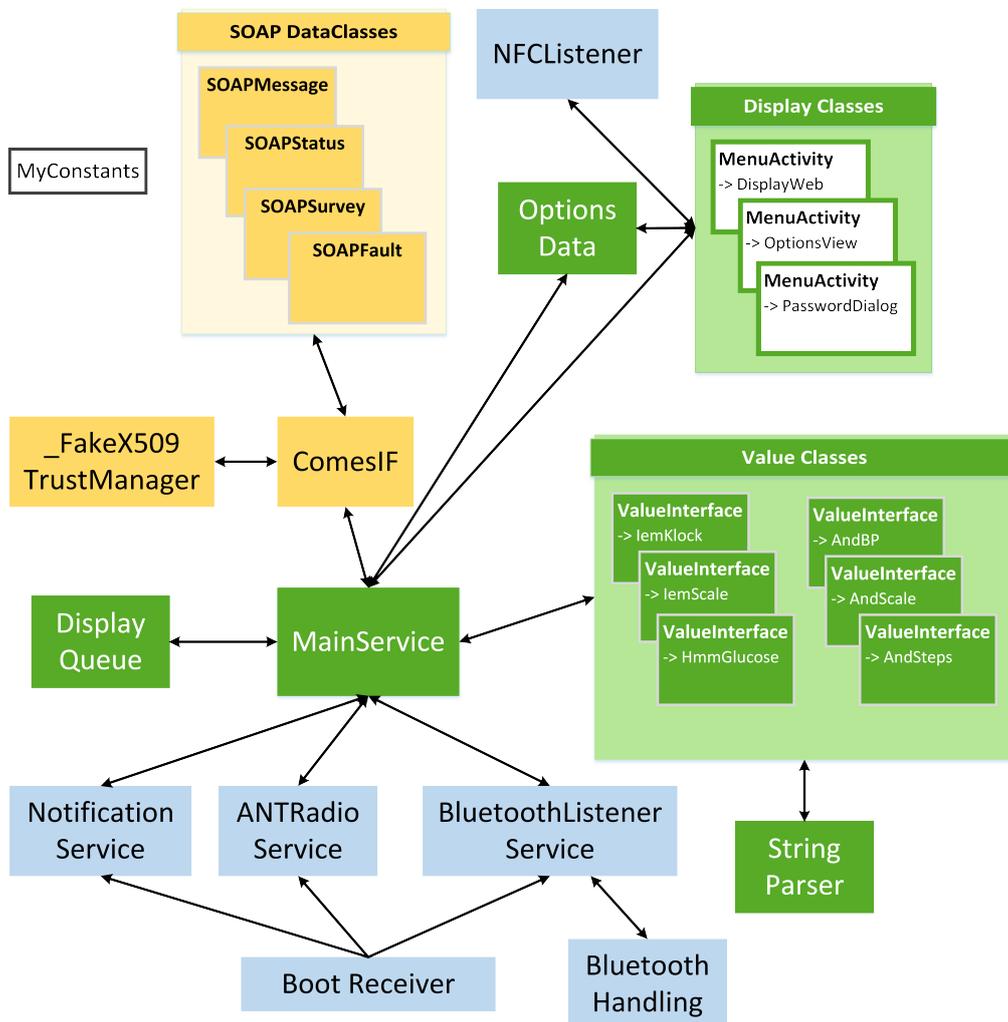
Wird der Datenverarbeitungsblock vom BluetoothListenerService aus gestartet, so wird eine Funktion zur Verarbeitung neuer Messwerte aufgerufen. In dieser wird zuerst die SOAP-Verbindung zur COMES<sup>®</sup>-Datenbank vorbereitet, d.h. ein eigenständiges Objekt wird instantiiert, es authentifiziert sich bei der Datenbank und übermittelt den empfangenen Wert. Der eigentliche Datenverarbeitungsblock bleibt in dieser Zeit in einem Warte-Zustand.

Nach erfolgreicher oder nicht erfolgreicher Datenübermittlung an die Datenbank wird dem System eine sogenannte Notification übergeben, die eine Meldung über die Statusleiste ausgibt. Daraufhin ist der Datenverarbeitungsblock beendet.

Nach der Darstellung der konzeptionellen Gestaltung der Android-Applikation wird nun die praktische Umsetzung erläutert. Hierbei wird zunächst auf die wichtigsten Klassen und deren Zusammenhänge eingegangen, ehe im Anschluss ausgewählte Details der Implementierung genauer erklärt werden.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Folgende Abbildung 5.42 verdeutlicht Verbindungen und Datenströme zwischen den einzelnen Klassen.



**Abb. 5.42.:** Zusammenhang der wichtigsten Klassen innerhalb der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

In Abbildung 5.42 wurde darauf geachtet, dass sich die farbliche Darstellung an diejenige in Abbildung 5.40 orientiert. So stellen die hellblau hinterlegten Klassen den Datenempfangs- und -abfrage-Block dar. Die Klassen, die zur Datenverarbeitung zählen, sind grün hervorgehoben. Die zentrale Klasse ist der MainService. Die Activities sind mit einem grünen Rahmen und weißem Hintergrund versehen, die Klassen für die SOAP-Kommunikation sind orange eingefärbt. Zusätzlich ist noch die Klasse „MyConstants“ dargestellt, die keinem Block eindeutig zugeordnet werden kann. Sie beinhaltet Konstanten, die in verschiedenen Klassen Anwendung finden.

### **BluetoothListenerService**

Für die Bluetooth-Verbindungen spielt die Klasse `BluetoothListenerService` eine zentrale Rolle. Sie wird zum Systemstart vom Broadcast Receiver `BootReceiver` gestartet und sollte bis zum Herunterfahren des Betriebssystems ohne Unterbrechung aktiv sein. Über verschiedene Broadcast Receiver (die als eingebettete Klassen implementiert sind und deswegen nicht im Diagramm erscheinen) überwacht er permanent den Status der Bluetooth-Schnittstelle des Betriebssystems, um zum Beispiel ein Deaktivieren zu bemerken und gegebenenfalls rückgängig zu machen.

Die eigentliche Bluetooth-Kommunikation, also das Öffnen des Ports sowie Empfangen und Senden von Daten, findet in der Klasse `BluetoothHandling` statt. Hier wird ein eigener Thread geöffnet, wodurch der `BluetoothListenerService` nicht blockiert wird. Wenn eine Verbindung zu einem Messgerät besteht, werden neu ankommende Daten über einen sogenannten Handler an den `BluetoothListenerService` übertragen. Ein Handler ist ein Android-Objekt zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Threads. Eine genauere Erklärung von Handlern erfolgt, in anderem Zusammenhang, weiter unten.

Wird eine Bluetooth-Verbindung beendet, so wird der Kanal zum Messgerät geschlossen und ein neuer Port geöffnet. Die von der Klasse `BluetoothHandling` empfangenen Daten werden im `BluetoothListenerService` weiterverarbeitet. Zunächst wird der Hersteller des medizinischen Messgerätes identifiziert, damit die Daten mit Hilfe des richtigen Protokolls decodiert werden können. Anschließend wird anhand der Daten nach dem Gerätetyp unterschieden. Bei manchen Geräten kann es zudem vorkommen, dass während des Datenempfangs aufgrund der Protokollstruktur Antworten gesendet werden müssen.

Wenn die Bluetooth-Übertragung abgeschlossen ist, wird eine auf das medizinische Gerät zugeschnittene Geräte-Klasse instantiiert und die empfangenen Daten zum Decodieren übergeben. Hier werden Werte wie Messzeitpunkt, Messwert, Einheit oder Seriennummer extrahiert. Bei diesem Schritt wird teilweise auf die Hilfsklasse `StringParser` zurückgegriffen, die Unterstützung beim sequentiellen Bearbeiten von Strings bietet.

Nach dem Decodieren prüft der `BluetoothListenerService`, ob die empfangenen Daten korrekt gelesen wurden und startet im Erfolgsfall den `MainService`. Dieser Start erfolgt über einen Remote Procedure Call (RPC), dessen Details im späteren erläutert werden.

### **ANTRadioService**

Der `ANTRadioService` dient zur Kommunikation mit Geräten mit dem Funkstandard ANT und ANT+. Hardwaremäßig wird dieses Funkprotokoll jedoch nur für wenige Geräte angeboten.

Die Klasse `ANTRadioService` wird zum Systemstart vom Broadcast Receiver `BootReceiver` gestartet und sollte bis zum Herunterfahren des Betriebssystems ohne Unterbrechung aktiv sein. In dieser Klasse werden zunächst der `ANTListener` gestartet, der von einer speziellen Bibliothek angeboten wird sowie zwei BroadcastReceiver, die einerseits den Status der ANT-Verbindung und andererseits die Nachrichten vom ANT-Modul behandeln.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Nachdem BroadcastReceiver und ANTLListener instantiiert wurden, prüft der Service, ob das verwendete Smartphone den Funkstandard ANT unterstützt. Ist dies nicht der Fall, so wird der ANTRadioService beendet. Sobald nun der ANTLListener Daten empfängt, wird der entsprechende Kanal geöffnet. Die vollständig empfangenen Daten werden nun decodiert und Messzeitpunkt, Messwert, Einheit oder Seriennummer extrahiert. Ähnlich dem BluetoothListenerService werden dazu teilweise Hilfsklassen verwendet. Abschließend werden die Daten an den MainService übergeben.

### **NFCService**

Entgegen bisheriger Implementierungen ist der NFCService Android-spezifisch und muss nicht extra programmiert werden. Im Android-Manifest wird jedoch angegeben, dass beim Eingang von Daten eines bestimmten NFC-Typs die Activity „DisplyWeb“ geöffnet wird. Die genaue Verarbeitung wird bei der Beschreibung der Activities erläutert.

### **NotificationService**

Der NotificationService ist ein sehr schlanker Service. Stündlich initiiert dieser eine Verbindung zum COMES<sup>®</sup>-Webservice mit Hilfe des MainService und fragt die Anzahl ungelesener Nachrichten ab. Sollten ein oder mehrere ungelesene Nachrichten für den Anwender vorliegen, so wird dies in der sogenannten Notification-Leiste angezeigt. Diese Leiste befindet sich am oberen Rand des Android-Bildschirmes.

### **MainService**

Die Klasse MainService dient dazu, eingehende Daten sowie sämtliche sonstige Informationen innerhalb der Applikation zu verarbeiten. Im Gegensatz zum BluetoothListenerService oder NotificationService ist dieser Service nicht dauerhaft aktiv, sondern wird nur bei Bedarf gestartet. Dies kann durch den BluetoothListenerService, ANTLListenerService, NFCService, NotificationService oder den Nutzer selbst erfolgen. Nach dem Start des MainService erfolgt der Programmablauf auf immer die selbe Art und Weise. Zunächst wird die onCreate()-Methode ausgeführt, die den Service für den weiteren Gebrauch vorbereitet. Dazu zählen vor allem das Laden gespeicherter Informationen sowie das Bereitstellen von Objekten, die im späteren Ablauf aufgerufen werden.

Generelle Applikationseinstellungen, wie beispielsweise Nutzernamen und Passwörter für die Authentifizierung mit der COMES<sup>®</sup>-Datenbank werden mittels der Klasse OptionsData gespeichert. In der DisplayQueue stehen alte Messwerte zur Verfügung. Diese Messwerte werden allerdings nur gespeichert, wenn sie noch nicht gelesen wurden. Sind diese Klassen instantiiert, meldet sich die Applikation erstmalig bei der COMES<sup>®</sup>-Datenbank an. Die Kommunikation mit der COMES<sup>®</sup>-Datenbank erfolgt über die Klasse ComesIF, die Methoden für sämtliche SOAP-Funktionen aus dem WSDL-File zur Verfügung stellt. Die ComesIF-Klasse wird im späteren Verlauf im Detail behandelt.

Sofern der MainService vom BluetoothListenerService, ANTLListenerService oder NFCService gestartet wird, steht in diesen Klassen mindestens ein Objekt mit neuen

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Messwerten zur Verfügung. Für jedes einzelne Messwert-Objekt wird die Java-Schnittstelle `ValueInterface` implementiert, so dass sie vom `MainService` auf die selbe Art und Weise behandelt werden können. Für neue Messgeräte ist an dieser Stelle also keine Anpassung nötig.

Die neu ankommenden Messwerte werden über die Methode `receivedNewValue()` verarbeitet. Dabei werden sie zuerst über `ComesIF` an die Datenbank geschickt. Sollte ein Übertragungsfehler auftreten, werden die Werte gespeichert und beim nächsten Start des `MainService` erneut gesendet.

Nach dem Senden wird die Anzeige der Werte vorbereitet. Dafür werden die einzelnen Werte in die `DisplayQueue` übertragen und der Nutzer wird über das Vorhandensein neuer Werte durch ein sogenanntes Popup mit dem entsprechenden Hinweis informiert.

Wird der `MainService` durch den `NotificationService` gestartet, so wird nach dem Aufruf der `onCreate()`-Methode eine Session-Id vom COMES<sup>®</sup>-Webservice angefragt. Neben besagter Session-Id wird vom COMES<sup>®</sup>-Webservice zusätzlich die Anzahl noch nicht gelesener Nachrichten und Umfragen zurückgeliefert. Sollten ein oder mehrere ungelesene Nachrichten für den Anwender vorliegen, so wird dies in der sogenannten Notification-Leiste angezeigt.

### Activities

Die Activities bilden den dritten großen Block der Applikation und sind die Schnittstelle zum Benutzer. Sie sind so implementiert, dass sie selber praktisch keine Funktionalität enthalten, sondern alles an den `MainService` weiterreichen. Einzig der Empfang und die Verarbeitung der NFC-Daten wird innerhalb der `DisplayWeb-Activity` verarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Activity `DisplayWeb` ist das Öffnen der COMES<sup>®</sup>-Internetseite für mobile Anwendungen, wie sie in Kapitel 5.3.5.1 beschrieben ist. Dazu wird eine sogenannte `WebView` instantiiert, die die COMES<sup>®</sup>-Internetseite mit `ssl`-Verschlüsselung und `Javascript`-Elementen aufruft. Darüber hinaus instantiiert diese Activity die speziell von Sony zur Verfügung gestellten `NfcTagManager`. Dieser wiederum startet den eigentlichen `NfcTagListener`. Eingehende Daten eines speziellen NFC-Typs können nun empfangen werden. Sobald die Daten ausgelesen wurden, wird der `MainService` und die bereits beschriebene Prozedur zur Datenübertragung gestartet.

Im `OptionsView` steht einerseits eine Taste zur Verfügung, mit der Benutzername und Passwort eingetragen werden können. Dies ist notwendig, um eine gültige Verbindung zum COMES<sup>®</sup>-Webservice aufbauen zu können. Dafür wird die Activity `PasswordDialog` geöffnet. Die eingegebenen Daten werden an den `MainService` übergeben, der Benutzername und Passwort an den COMES<sup>®</sup>-Webservice schickt, anhand der Antwort auf Richtigkeit hin überprüft und gegebenenfalls die Kombination speichert. Andererseits kann durch Betätigen der Taste „Blutzuckerdaten empfangen (HMM)“ die Applikation kurzfristig als sogenannter Bluetooth-Client fungieren; d.h. die Applikation versucht, eine Bluetooth-Verbindung zu einem vorher gepairten Blutzuckermessgerät aufzubauen. Protokoll-bedingt ist dies für die COMES<sup>®</sup> verwendeten Blutzuckermessgeräte notwendig. Dafür wird lediglich das Interface

DisplayWebBtListenerApi benutzt.

### Kommunikation zwischen MainService und Activities

Der MainService und die Activities stellen jeweils Threads dar, das heißt, beide werden parallel im selben Prozess ausgeführt. Da die beiden Threads unabhängig voneinander sind, ist die Kommunikation zwischen den beiden asynchron. Anfragen von einem Thread an den anderen werden von diesem nicht direkt bearbeitet, sondern erst, wenn der empfangende Thread alle anstehenden Aufgaben abgearbeitet hat.

Android sieht für diese Art der Kommunikation Handler und Messages vor. Ein Objekt der Klasse Handler ermöglicht es, Nachrichten an eine MessageQueue zu senden und Nachrichten von dieser MessageQueue zu verarbeiten. Jeder Thread hat eine eigene MessageQueue, jedoch ist es möglich, dass sich Handler auch mit der MessageQueue von anderen Threads verbinden. Dies bedeutet, dass der MainService einen Handler implementiert, der seine eigene MessageQueue überwacht. Mit dieser MessageQueue können sich nun andere Activities verbinden und MainService und Activity können miteinander kommunizieren. Um die Verbindung aufbauen zu können, muss die Activity über die bindService()-Methode eine Verbindung zum MainService öffnen. Wird der MainService durch eine bindService()-Anfrage aufgerufen, startet seine onBind()-Methode, die als Return-Wert eine Referenz auf seinen Handler übergibt. Mit dieser Referenz kann die Activity nun Nachrichten an den MainService schicken und empfangen.

Eine Nachricht ist in diesem Fall wieder ein Objekt, das verschiedene Parameter hat. Der Inhalt der Nachricht kann aus zwei Integer-Werten, einem Objekt und einem Absender bestehen, sodass auch komplexe Informationen über diesen Weg transportiert werden können. In der vorliegenden Applikation werden verschiedene Nachrichten verwendet, die in der Regel aus einfachen Datentypen wie Integer oder String bestehen.

Der Code-Abschnitt 5.3.8 zeigt einen Ausschnitt aus dem Handler im MainService. MSG\_REGISTER\_CLIENT ist eine Integer-Konstante und definiert eine Nachricht. Wird diese Nachricht an den Handler gesendet, führt dieser den Code im entsprechenden case-Zweig aus; in diesem Fall wird eine weitere Funktion aufgerufen.

```
1  /**
2   * Handler of incoming messages from clients.
3   */
4  class IncomingHandler extends Handler {
5      @Override
6      public void handleMessage(Message msg) {
7          switch (msg.what) {
8              case MSG_REGISTER_CLIENT:
9                  msg_register_client(msg.replyTo, (String)msg.obj);
10                 break;
11                 case [...]
```

Code-Abschnitt 5.3.8: Ausschnitt des Handlers im MainService

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Das Gegenstück, also das Senden der Nachricht, ist im Code-Abschnitt 5.3.9 gezeigt. Es wird erst ein Objekt vom Typ `Message` aus einem Pool bezogen und die selbe Konstante wie im Handler als Nachricht angegeben. Danach wird ein Absender und ein String-Objekt, in diesem Fall der Name der sendenden Klasse, angefügt. Anschließend wird die Nachricht gesendet.

```
1 // This is called when the connection with the service has been
2 // established, giving us the service object we can use to
3 // interact with the service.
4 mService = new Messenger(service);
5
6 // We want to monitor the service for as long as we are
7 // connected to it.
8 try {
9     Message msg = Message.obtain(null,
10         MainService.MSG_REGISTER_CLIENT);
11     msg.replyTo = mMessenger; // add replyTo-address
12     msg.obj=getLocalClassName(); // add the class name as
13                                     // identifier of the service
14     mService.send(msg);
15
16     [...]
17
18 } catch (RemoteException e) {
19     // In this case the service has crashed before we could even
20     // do anything with it; we can count on soon being
21     // disconnected (and then reconnected if it can be restarted)
22     // so there is no need to do anything here.
23 }
24 }
```

Code-Abschnitt 5.3.9: *Registrieren eines Clients in der Klasse MenuActivity*

### Interface für die Geräteklassen

Eine wichtige Anforderung an diese Applikation ist die Modularität. Neue Messgeräte sollen ohne großen Programmieraufwand unterstützt werden können. Dazu wird ein einheitliches Interface für alle Geräte erzeugt. Die Hersteller medizinischer Geräte schicken unterschiedliche Daten über die entsprechenden Funkschnittstellen abhängig vom Gerätetyp und firmenspezifischen Protokollen. Für die Decodierung dieser spezifischen Information existieren verschiedene Geräteklassen.

Für die Applikation sind aber nicht alle übertragenen Informationen von Bedeutung, sondern nur der Messwert, die Einheit und der Messzeitpunkt. Diese Daten werden an die COMES<sup>®</sup>-Datenbank übertragen und dem Nutzer über die COMES<sup>®</sup>-Webapp angezeigt. Es existieren also mehrere Klassen mit eigenem Inhalt, aber gleicher Schnittstelle. Dafür kann in Java ein Interface definiert werden. Dies stellt praktisch einen Vertrag zwischen Nutzer und Klasse dar, der garantiert, dass die Klasse sämtliche im Interface definierten Methoden implementiert [150].

Die Umsetzung ist wie folgt: das Interface wird über `public interface TheInterface` definiert. Danach folgen die Methodendeklarationen. Die Klasse implementiert das Interface durch das `implements`-Schlüsselwort nach der Klassendefinition: `public final class`

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

TheClass implements TheInterface. In der Klasse müssen sämtliche Methoden entsprechend der Deklaration implementiert werden.

In der vorliegenden Applikation wird das Interface ValueInterface genannt. Es enthält Methoden, um die Messwerte in verschiedenen Formatierungen für die einzelnen Anwendungen auszugeben. Zwei weitere wichtige Methoden sind isValid() und getType(). Die erste gibt an, ob der Konstruktor die Bluetooth-Daten korrekt decodieren kann. Die zweite teilt den Typ des Messwerts mit, also ob es sich beispielsweise um Blutdruck- oder Gewichtswerte handelt.

### **Schnittstelle zwischen MainService und BluetoothListenerService bzw. ANTRadioService**

Im folgendem wird lediglich auf die Kommunikation zwischen MainService und BluetoothListenerService eingegangen. Der Datenaustausch zwischen MainService und ANTRadioService erfolgt auf die selbe Art und Weise.

Im vorliegenden Fall handelt es sich wiederum um zwei unterschiedliche Threads, jedoch laufen MainService und BluetoothListenerService in verschiedenen Prozessen. Man spricht hier von einer Interprozess-Kommunikation (IPC). Die dafür notwendige Schnittstelle wird in der sogenannten AIDL (Android Interface Description Language) beschrieben.

Mit Hilfe der AIDL können prozessübergreifende Methoden definiert werden, die von einem Service angeboten und von einem Client benutzt werden können. Die Definition erfolgt dabei ähnlich einer Java-Interface-Definition. Allerdings ist das AIDL-File, in dem das Interface definiert wird, nur ein Zwischenschritt. Das Android Framework generiert daraus automatisch Java Code, der dann zur Laufzeit verwendet wird.

Sobald der BluetoothListenerService neue Messwerte empfangen hat, versucht er diese an den MainService zu übertragen. Dazu startet er zunächst den MainService und bindet in mit der bindService()-Methode. Im MainService wird, wie auch beim MainService-Activity-Interface, die onBind()-Methode aufgerufen. Diesmal wird aber nicht ein Handler zurückgegeben, sondern ein sogenannter AIDL-Stub.

Der AIDL-Stub besteht teilweise aus dem automatisch generierten Java-Code, teilweise aus manuell implementieren Code im MainService. Mit der Referenz auf den Stub kann der BluetoothListenerService nun die öffentlich zur Verfügung stehenden MainService-Methoden nutzen. Aus Sicht des Interfaces ist der BluetoothListenerService als Client zu verstehen, der auf Methoden des MainService zugreift.

Für diese IPC-Kommunikation steht nur eine Methode namens forwardNewValue() in der AIDL-Datei zur Verfügung. Diese Methode wird aufgerufen, wenn neue Messwerte an den MainService übertragen werden. Als Parameter hat die Methode jeweils ein Objekt sämtlicher Geräteklassen. Das verwendete AIDL-Interface heißt BtListenerMainServiceApi.aidl. Nachdem diese Methode aufgerufen wurde, startet der zu Beginn dieses Kapitels beschriebene Ablauf im MainService.

### **Datenanbindung mit der Klasse ComesIF**

Die Kommunikation zwischen der Applikation und der COMES<sup>®</sup>-Datenbank erfolgt über ein SOAP-Interface, das durch ein WSDL-File definiert wird. Die Umsetzung dieses Interfaces wird im Folgendem erklärt.

Für das Android-Betriebssystem stellt Google keine explizite native SOAP-Unterstützung bereit; das heißt, es gibt im Framework keine Klassen mit deren Hilfe eine SOAP-Schnittstelle realisiert werden kann. SOAP hat den Nachteil, dass relativ viel Daten ausgetauscht werden, die nichts mit der eigentlichen Nachricht zu tun haben. Dies wirkt sich auf Akkulaufzeit und auch Verbindungskosten aus. Empfohlen wird von Google für die Kommunikation mit Webservices stattdessen die REST-Architektur (Representational State Transfer). Wie aber bereits in Kapitel 5.2.2.3 beschrieben wurde, sind u.a. aufgrund der niedrigen Datenmenge die Nachteile für SOAP obsolet und wird in COMES<sup>®</sup> eingesetzt.

Java selbst bietet eine API namens JSR-101 an, die mit vollem Namen „Java APIs for XML based RPC“ heißt. RPC steht dabei für Remote Procedure Call. Diese wurde bereits zu Beginn des Projektes näher untersucht. Eine genauere Beschreibung von JSR-101 und der Vergleich mit anderen Alternativen findet sich ausführlich in [151].

Für JSR-101 steht ein Code-Generator zur Verfügung, der aus der vorhandenen WSDL-Datei automatisch Klassen für sämtliche Elemente erzeugt. Dadurch entsteht eine sehr große Anzahl an Klassen und Objekten. JSR-101 ist für den Einsatz in J2SE/J2EE (Java 2 Standard/Enterprise Edition) konzipiert, also für den Einsatz in Desktop- oder Server-Systemen, und dadurch nicht Ressourcen-optimiert. Aufgrund des damit verbundenen hohen Speicherbedarfs mobiler Plattformen, der diese übermäßig belastet, wird auf die Nutzung von JSR-101 verzichtet. Stattdessen findet die frei zugängliche Bibliothek ksoap2-android [152] Anwendung. Hierbei handelt es sich um einen speziellen Android-Fork, einer Android-Software-Abspaltung der ksoap2-Library. ksoap2 ist ein Open Source Redesign von JSR-101, mit Fokus auf den Einsatz in J2ME (Java 2 Mobile Edition).

Der große Unterschied zwischen ksoap2-android und JSR-101 ist, dass keine Klassen automatisch generiert werden, sondern nur Objekte zum generieren von SOAP Requests zur Verfügung gestellt werden. Für eine beispielhafte Funktion `sendData()` im WSDL-File wird also keine eigene Klasse generiert, sondern die Elemente müssen manuell zusammengefügt werden, wie der Code-Abschnitt 5.3.10 zeigt.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

```
1 // prepare the DeviceData Property
3 // get new SoapObject
4 SoapObject deviceData = new SoapObject(NAMESPACE, DEVICE_DATA);
6 // add properties
7 deviceData.addProperty(DEVICE_ID, deviceId);
8 deviceData.addProperty(DATA, data);
11 // prepare sendDataRequest Property
13 // get new SoapObject
14 SoapObject sendDataRequest = new SoapObject(NAMESPACE,
15                                             SEND_DATA_REQUEST);
17 // add properties
18 sendDataRequest.addProperty(SESSION_ID, mSessionId);
19 sendDataRequest.addProperty(DATA_TYPE, ASCII_DELIMITED);
21 // add SoapObject deviceData as property
22 sendDataRequest.addProperty(DEVICE_DATA, deviceData);
```

Code-Abschnitt 5.3.10: Generieren eines SOAP-Objekts

Aufgrund dessen, dass mit ksoap2-android jeder SOAP-Request manuell aufgebaut werden muss, wird ComesIF als Wrapper-Klasse implementiert. Sie stellt als Methoden die Funktionen des WSDL-Files zur Verfügung und dient dem MainService als eine Art Blackbox für die Datenbank-Anbindung.

Dem Konstruktor der ComesIF-Klasse werden Benutzername und Passwort für die Datenbank-Anbindung als Parameter übergeben. Öffentlich zugänglich sind die public-Methoden `authenticate()`, `sendData()`, `inQuery()`, `getMessage()`, `getSurvey()`, `sendSurvey()` und `newPwd()`, wobei die Methoden `getSurvey()` und `sendSurvey()` nicht mehr verwendet werden. In den einzelnen Methoden wird der zugehörige XML-Request, der sogenannte SOAP-Envelope, nachgebaut und über ein http-Interface an den Webservice übertragen. Die Antwort wird von ksoap2-android wieder in ein spezielles Envelope-Objekt eingelesen und steht dann zur weiteren Verarbeitung bereit.

Die Methoden werten die Antwort des Webservices aus und erzeugen, je nach Anfrage, Objekte der Typen `SoapMessage`, `SoapStatus`, `SoapFault` oder `SoapSurvey`. Dabei handelt es sich um selbst implementierte Methoden, die die Envelopes entpacken und die einzelnen Elemente über Methoden zur Verfügung stellen. Diese Objekte werden anschließend zur weiteren Nutzung als Return-Wert an den MainService übergeben.

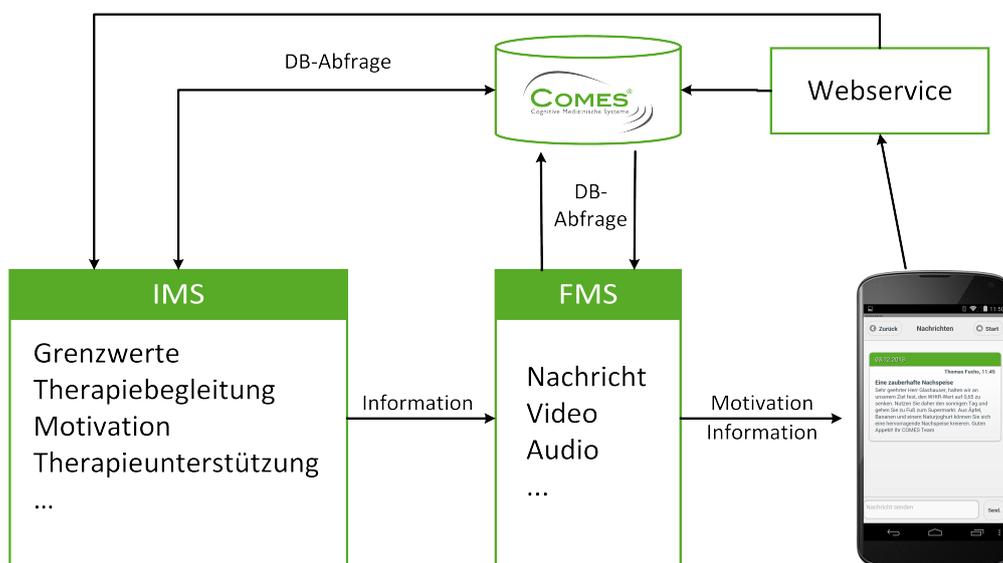
### 5.3.6. Interventions- und Feedbackmanagementsystem

Das Interventions- und Feedbackmanagementsystem ist als abstrakte Ebene innerhalb des COMES<sup>®</sup>-Systems zu verstehen. Es wird nicht als eigener Baustein implementiert, sondern ist vielmehr in einzelnen Umsetzungen präsent. Zum besseren Verständnis werden

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

sie jedoch als logische Einheit gruppiert. In Abbildung 5.43 ist sehr gut zu erkennen, wie Interventions- sowie Feedbackmanagementsystem im Gesamtsystem COMES<sup>®</sup> eingebunden sind. Der Anwender übermittelt mittels Smartphone Messwerte oder sonstige Daten an den COMES<sup>®</sup>-Webservice. Dieser verarbeitet die eingehenden Daten und speichert sie entweder in der COMES<sup>®</sup>-Datenbank oder übermittelt sie an das Interventionsmanagementsystem. Das Interventionsmanagementsystem prüft aufgrund eines entsprechenden Auslösers, das eingehende Daten vom Webservice oder Anfragen eines Skripts, die von einem sogenannten „cronjob“ ausgeführt werden, sein können, ob eine Interaktion notwendig ist. Dazu werden entsprechende Daten aus der Datenbank abgefragt. Sollte nach der Auswertung der Daten eine Handlung notwendig sein, so schickt das Interventionsmanagementsystem diese Informationen an das Feedbackmanagementsystem. Das Feedbackmanagementsystem liest daraufhin aus der Datenbank aus, welche Information in welcher Art, lesbar, hörbar oder ansehbar, an das Smartphone des Anwenders übermittelt werden sollen.

Die einzelnen Umsetzungen werden im Folgenden näher erläutert.



**Abb. 5.43.:** Integration von Interventionsmanagementsystem und Feedbackmanagementsystem in COMES<sup>®</sup>

### Grenzwerte

Das Interventionsmanagement bezweckt, auf eingehende Daten zu reagieren und eine entsprechende Information an das Feedbackmanagementsystem weiterzuleiten. Derartige Daten können sowohl absolute als auch individuelle Grenzwerte von Messwerten sein. So ist beispielsweise ein absoluter Grenzwert des systolischen Blutdrucks 30 mmHg - es liegt aller Wahrscheinlichkeit nach ein Messfehler vor -, wohingegen der individuelle Wert zwischen 100 und 130 mmHg liegt. Wird der niedrigere Wert unter- bzw. der höhere Wert überschritten, so wird diese Information an das Feedbackmanagementsystem weitergeleitet und ein entspre-

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

chendes Handeln initiiert.

Im COMES<sup>®</sup>-System kann hinterlegt werden, welche Auswirkungen ein Abweichen vorgegebener Grenzwerte haben kann. Um beim oben genannten Beispiel des systolischen Blutdrucks zu bleiben, sendet bei Unter- bzw. Überschreiten eines absoluten Grenzwertes das Feedbackmanagementsystem eine Nachricht an den Patienten, dass er die Messung nochmals durchführen möge und gegebenenfalls überprüfen solle, ob ein Austausch der Batterien notwendig sei. Liegt der Messwert wieder innerhalb des „normalen“ Messbereichs, so wird eine bestätigende Nachricht an den Patienten gesendet. Befindet sich der Messwert jedoch weiterhin außerhalb des absoluten Grenzbereichs, so wird empfohlen, dies ärztlich abklären zu lassen. Die Nachrichten erhält der Patient innerhalb weniger Sekunden nach der Messung auf seinem Smartphone in der COMES<sup>®</sup>-Webapplikation.

Ist die Abweichung hingegen den individuellen Grenzwerten zuzuschreiben, so kann, je nach Einstellung, der Patient, der Arzt, der pflegende Angehörige oder die Pflegekraft im Altenheim eine entsprechende Nachricht erhalten. Sowohl die Nachricht als auch die Abstufung des Ausmaßes der Abweichung gegenüber dem vorgegebenen Normbereich können individualisiert werden. Eine Nachricht für den Patienten könnte demzufolge lauten:

„Bitte überprüfen Sie in den kommenden Tagen vermehrt Ihren Blutdruck. Achten Sie darauf, dass Sie die Messung stets in Ruhe durchführen.“

Die notwendigen Daten werden vom Feedbackmanagementsystem aus der COMES<sup>®</sup>-Datenbank ausgelesen. Wird innerhalb der letzten vier Tage eine permanente Unter- oder Überschreitung des Grenzwertes vom System erkannt, wird zusätzlich ein Termin mit dem Hausarzt empfohlen. Die Telefonnummer für den Direktanruf wird mitgeteilt.

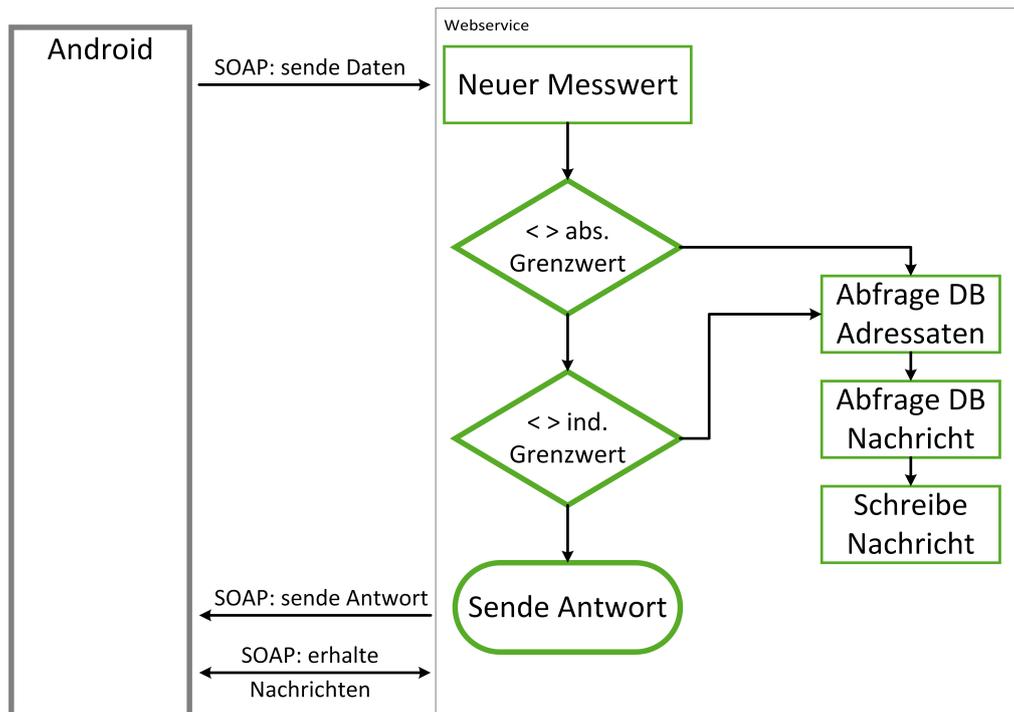
Die technische Umsetzung dieser Überprüfung erfolgt im COMES<sup>®</sup>-Webservice, nachdem der Messwert via SOAP übertragen worden ist. Abbildung 5.44 zeigt den vereinfachten Ablauf.

Dazu werden zunächst die absoluten Grenzwerte und, falls nötig, die individuellen Grenzwerte überprüft. Liefert die Funktion einen von 0 abweichenden Wert zurück, so wird aus der Datenbank abgefragt, wer welche Nachricht erhalten soll und diese gesendet. Damit der Patient über die COMES<sup>®</sup>-Applikation unverzüglich informiert wird, dass eine neue Nachricht vorhanden ist, stellt die COMES<sup>®</sup>-Applikation nach jedem erfolgreichem Senden der Messwerte eine Anfrage an den COMES<sup>®</sup>-Webservice nach neuen Nachrichten.

### **Therapiebegleitung**

Ein herausstechendes Merkmal von COMES<sup>®</sup> ist die Möglichkeit der Therapiebegleitung. Der Arzt bzw. Therapeut gibt im System ein bestimmtes Therapieziel vor, das der Patient innerhalb einer gewissen Zeit erreichen soll. Das Interventionsmanagementsystem unterteilt die ärztliche Zielvorgabe in kleine Einzelschritte und das Feedbackmanagementsystem sendet entsprechende Motivationen an den Patienten. Ziel ist es, dass der Patient dauerhaft motiviert

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



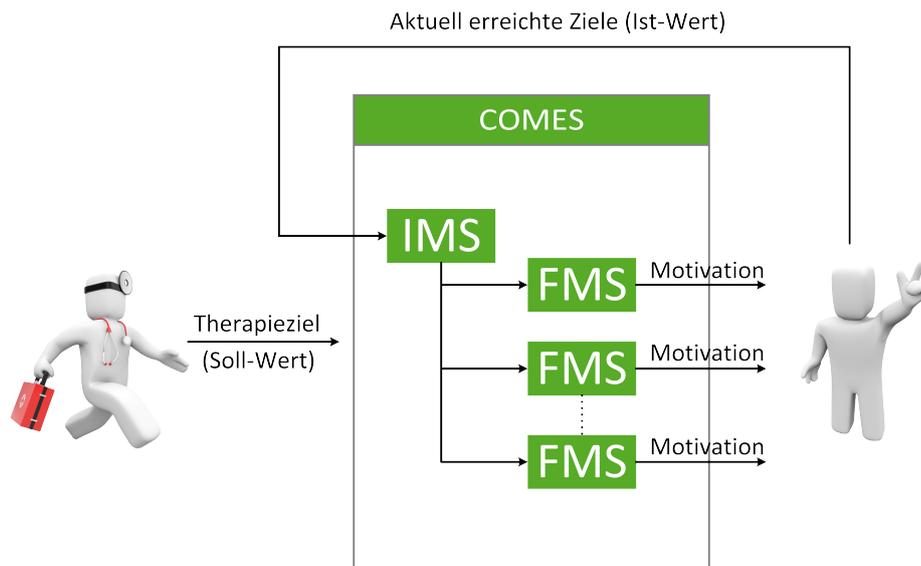
**Abb. 5.44.:** Vereinfachte Darstellung des Signalflusses bei Grenzwertabweichungen im COMES<sup>®</sup>-Webservice

bleibt, nicht überfordert wird, seine Therapie gewissenhaft durchführt und die (positive) Entwicklung erfährt. Der Arzt kann diese Entwicklung beobachten und gegebenenfalls korrigierend einschreiten. Abbildung 5.45 veranschaulicht den Prozess der Therapiebegleitung.

Die Therapiebegleitung soll zur besseren Verständlichkeit an einem konkreten Beispiel dargestellt werden. Ein 35-jähriger männlicher Patient namens Felix Mayer leidet an Bluthochdruck. Während des Anamnesegesprächs hat der Arzt festgestellt, dass sich der Patient nur sehr wenig bewegt. Aufgrund des jungen Alters des Patienten vermeidet der Arzt zunächst, Herrn Mayer Medikamente zu verschreiben. Stattdessen verordnet er ihm eine Ernährungsumstellung sowie die Steigerung seiner körperlichen Aktivität.

Der Arzt gibt nun in das COMES<sup>®</sup>-System als Therapieziel zur Steigerung der körperlichen Aktivität 8.000 Schritte pro Tag ein, die der Patient in vier Wochen erreichen soll. Nachdem der Patient mit einem COMES<sup>®</sup>-Set ausgestattet worden ist, wird zunächst vom System eine Woche lang ermittelt, wie viel sich der Patient durchschnittlich am Tag bewegt. Dies dient als Grundlage für das gesetzte Therapieziel. In diesem Beispiel wird angenommen, dass Herr Mayer in der ersten Woche durchschnittlich 3.000 Schritte pro Tag absolviert. Ist die Differenz zwischen dem vom Arzt eingetragenen Therapieziel und der durchschnittlichen Schrittzahl zu groß oder zu klein, wird der Arzt darüber in Kenntnis gesetzt und ihm vorgeschlagen, das Therapieziel anzupassen. Dies bleibt jedoch in der Verantwortung des Arztes. Daraufhin unterteilt

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.45.:** Prozess der COMES<sup>®</sup>-Therapiebegleitung

das Interventionsmanagementsystem das angestrebte Therapieziel in kleine Einheiten. Das Interventionsmanagementsystem erstellt hierzu eine „Anpassungskurve“, wie sie in Abbildung 5.46 gezeigt ist.

Diese Anpassungskurve entspringt der Sigmoidfunktion 5.3

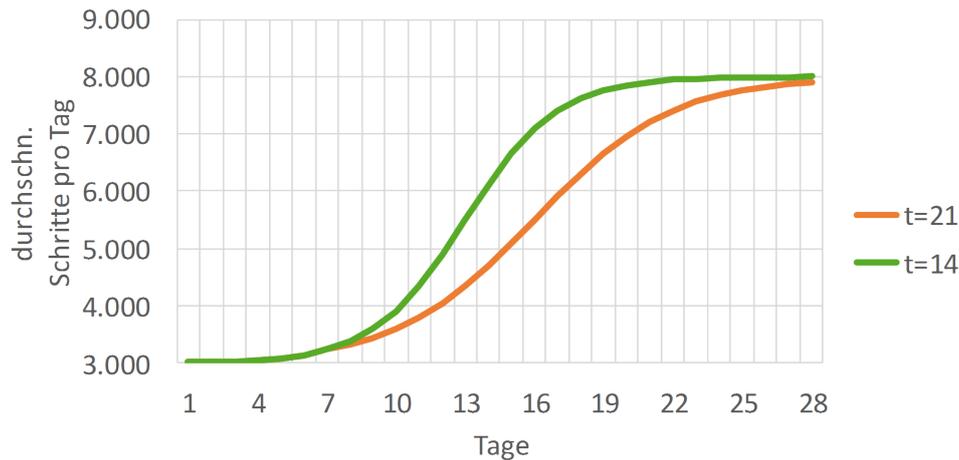
$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5.3)$$

Diese Formel wird entsprechend den Voraussetzungen für die Bewegungsmotivation nach [153] erweitert. Darin wird postuliert, dass sich anfangs der Mensch bewusst werden soll, dass er sich täglich bewegen soll und wird. Daher ist die Steigerung der Schritte innerhalb der ersten Woche recht gering. Das Gehirn soll geschult werden, dass die tägliche Bewegung zum routinemäßigen Ablauf gehört. Danach wird die natürliche Anfangsmotivation ausgenutzt und eine starke tägliche Steigerung der Bewegung vorgegeben. Gegen Ende der vereinbarten Zeit nimmt die Steigerungskurve wieder etwas ab, um Motivationslücken auszugleichen. Die zugrundeliegende Formel 5.4 lautet

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\frac{1}{t}(7n - (3t + 49))}} * s_{Zusatz} + s_{Durchschnitt} \quad (5.4)$$

mit  $t$  = Anzahl der Tage,  $n$  = aktueller Tag,  $s_{Zusatz}$  = zusätzliche Schrittzahl zum Durchschnitt,  $s_{Durchschnitt}$  = durchschnittliche Schrittzahl zu Beginn.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem



**Abb. 5.46.:** Darstellung der Schritte pro Tag über einen unterschiedlichen Zeitraum  $t$  ( $t$  = Anzahl der Tage bis zur Erreichung des Bewegungsziels nach der Eingewöhnungszeit von sieben Tagen)

Nach jedem Dateneingang und mindestens einmal täglich überprüft das Interventionsmanagementsystem, inwieweit das Tagesziel erreicht wurde. Im genannten Beispiel hat Herr Mayer am zehnten Tag die geforderte Schrittzahl von 3.596 mit einem Wert von 3.721 Schritten pro Tag nicht nur erreicht, sondern sogar leicht übertroffen. Das Interventionsmanagementsystem übergibt diese Information an das Feedbackmanagementsystem, welches an den Patienten eine belobigende Nachricht schickt:

“Sehr geehrter Herr Mayer, das haben Sie hervorragend gemacht! Sie haben Ihr Tagesziel mit 3.721 Schritten am heutigen Tag sogar leicht übertroffen. Wollen wir für die kommenden zwei Tage eine leichte Steigerung auf 4.050 Schritten pro Tag vereinbaren?  
Ihr COMES<sup>®</sup> Team“

Aufgabe des Interventionsmanagementsystem ist es nun, dass Herr Mayer das vom Arzt vorgegebene Therapieziel innerhalb des angestrebten Zeitraums erreicht. Sollten die Tagesziele nicht erreicht oder weit übertroffen werden, so wird die „Anpassungskurve“ entsprechend verändert. Hat Herr Mayer am zehnten Tag statt der geforderten 3.596 wiederholt nur 3.300 Schritte pro Tag erreicht, so wird die Sigmoid-Funktion entsprechend angepasst. Stellt man Formel 5.4 um und löst sie nach den Tagen  $t$  auf, so ergibt sich Formel 5.5

$$t = \frac{49 - 7n}{\ln\left(\frac{s_{\text{Zusatz}}}{y - s_{\text{Durchschnitt}}} - 1\right) - 3} \quad (5.5)$$

Für Herrn Mayer würde das einen Wert von  $t \approx 84,5$  Tage bedeuten. Das meint, dass er bei einer anfänglichen Schrittzahl von 3.000 Schritte pro Tag und gleichbleibender Steigerung

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

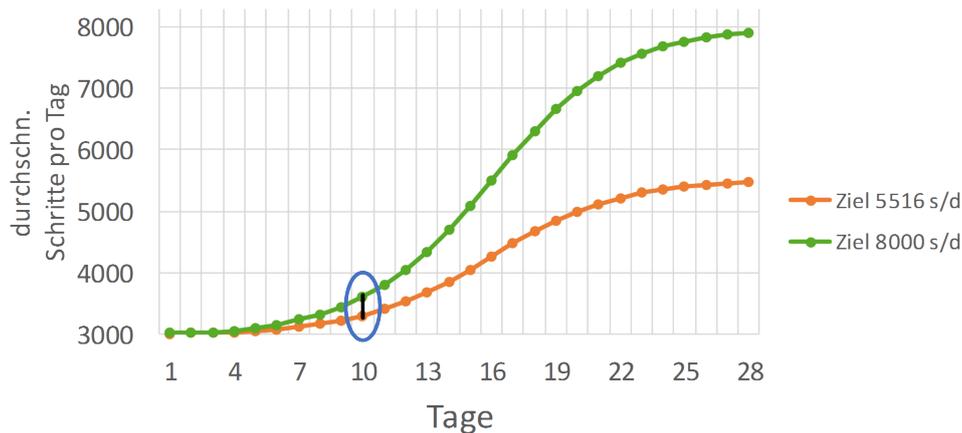
der Aktivität insgesamt 85 Tage inklusive 7 Tage Eingewöhnungszeit, also 92 Tage bräuchte, um das angestrebte Ziel von 8.000 Schritten täglich zu erreichen.

An dieser Stelle können nun zwei Verfahren angewandt werden, die der Arzt zuvor auswählen kann. Einerseits kann der Sigmoid dahingegen angepasst werden, dass die Anzahl der Tage zur Erreichung des Ziels verlängert wird. Andererseits können die Tage gleich bleiben, jedoch das angestrebte Ziel minimiert werden. Die Berechnung der erstgenannten Methode kann mit Formel 5.5 erfolgen, wohingegen für die Berechnung des neuen Ziels Formel 5.7 bzw. für die Berechnung der zu steigenden Schrittzahl Formel 5.6 herangezogen werden muss.

$$s_{Zusatz}(t) = (y - s_{Durchschnitt}) \left(1 + e^{-\frac{1}{t}(7n-3t-49)}\right) \quad (5.6)$$

$$s_{Ziel}(t) = s_{Zusatz}(t) + s_{Durchschnitt} \quad (5.7)$$

Setzt man die Beispielwerte in die Formel 5.7 ein, so erhält Herr Mayer als neuen Zielwerte nach insgesamt 28 Tagen etwa 5.520 Schritte pro Tag. In Abbildung 5.47 ist der Unterschied zwischen dem vorherigen und dem neuen Zielwert durch einen ovalen Kreis hervorgehoben.



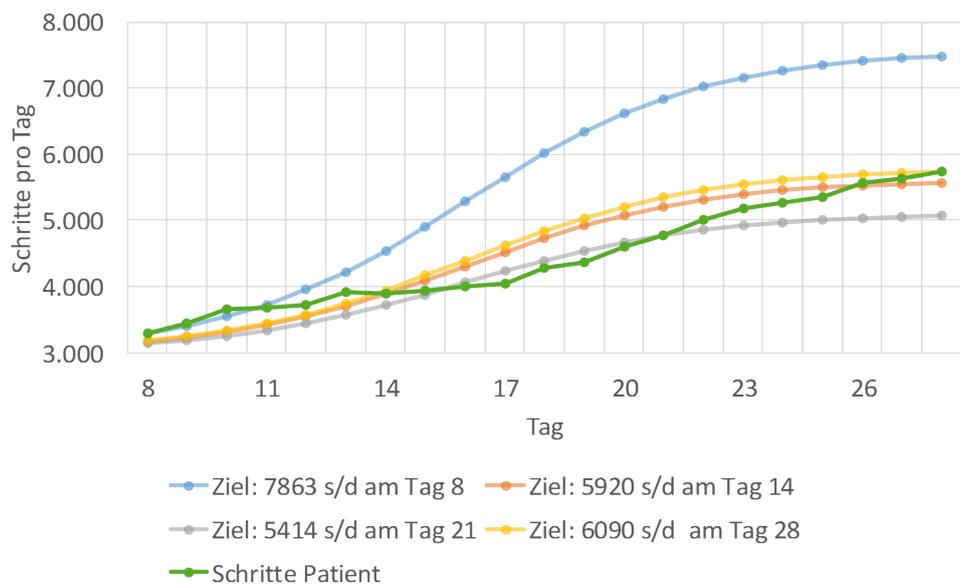
**Abb. 5.47.:** Darstellung der Schritte pro Tag bei unterschiedlichen Zielwerten über einen Zeitraum von 28 Tagen

Auffällig ist, dass eine minimale Änderung zu Beginn - 300 Schritte pro Tag entsprechen in etwa 240 Metern - zu einer erheblichen Auswirkung auf das gesamte Teiltherapieziel führt. Daher werden sowohl die Berechnung zur Verlängerung des Therapiezeitraums als auch zur Änderung des Therapieziels einmal täglich durchgeführt.

Diese tägliche Anpassung demonstriert Abbildung 5.48. Anhand der aktuellen Schrittzahl wird am achten Tag gemäß Formel 5.7 das neue Ziel in Höhe von 7.863s/d (steps per day

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

bzw. Schritte pro Tag) berechnet. Daraus ergibt sich die blaue Sigmoid-Kurve. Zur besseren Veranschaulichung wird dies ebenfalls am 14. (rote Kurve), 21. (graue Kurve) und 28. Tag (orange Kurve) durchgeführt. Die tatsächlich vom Patienten gegangenen Schritte sind anhand der grünen Kurve zu sehen. Es ist deutlich erkennbar, dass bis zum Tag 17 nur eine geringe Steigerung der körperlichen Aktivität erkennbar ist. Dies spiegelt sich darin wieder, dass die Ziele an den Tagen 8, 14 und 21 rückläufig sind. Erst danach ist eine stetige Steigerung der Bewegung erkennbar und die Zielvorgabe erhöht sich wieder.



**Abb. 5.48.:** Veränderung der Zielvorgaben der körperlichen Aktivität anhand der gegangenen Schritte des Patienten

Schließlich gilt es noch zu erwähnen, dass es sowohl Ober- als auch Untergrenzen für die Zielvorgaben gibt. Bei beispielsweise anhaltender negativer Bewegungsentwicklung würde sich die Sigmoid-Kurve an die durchschnittliche Schrittzahl pro Tag anpassen. Dies ist nicht gewünscht, da somit kein Therapieerfolg eintreten kann. Aus diesem Grund kann entweder der Arzt einen Zielbereich definieren oder das Interventionsmanagementsystem gibt als Untergrenze 20% und als Obergrenze 120% des vom Arzt vorgegebenen Therapieziels vor. Im oben beschriebenen Beispiel würde Herr Mayer zu mindestens  $4.600s/d$  und höchstens  $9.600s/d$  motiviert werden.

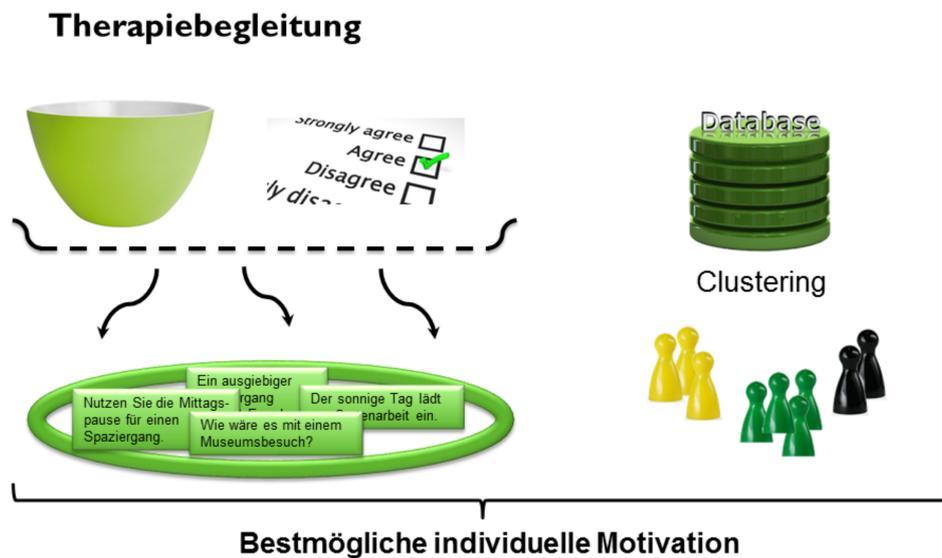
Dieses Verfahren ist nicht nur für das Therapieziel „Bewegungssteigerung“ geeignet, sondern auch für andere Therapieziele, wie beispielsweise die Ernährungsumstellung.

### Interventionsmanagementsystem zur Motivation

Wie soeben beschrieben wurde, ist die Motivation, die Therapie durchzuführen, ein gewichtiger

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Grund zur Genesung oder Linderung der Beschwerden des Patienten. Welchen Beitrag das Interventionsmanagementsystem zur Motivation leisten kann, lässt sich am besten mit Hilfe von Abbildung 5.49 erläutern.



**Abb. 5.49.:** Vereinfachte Darstellung des Prinzips zur Motivation des Interventionsmanagementsystems für COMES<sup>®</sup>.

Sobald ein Patient COMES<sup>®</sup> nutzt, erhält er einen Fragebogen, mit dessen Hilfe gewisse Präferenzen des Patienten abgefragt werden. Die Abfrage dieser Präferenzen erstrecken sich von der Liebe gegenüber der Natur über den Besitz von Haustieren bis hin zu kulturellen und sonstigen Interessen. Daraufhin werden alle Motivationsnachrichten, die diesen Vorlieben entsprechen, dem Patienten zugeordnet. Somit kann es bspw. nicht passieren, dass ein Patient zum Besuch eines Museums für Malereien des 18. und 19. Jahrhunderts ermutigt wird, obschon sein Interesse daran sehr gering ist.

Auf Basis allgemeiner Informationen über den Patienten und den besagten Fragebogen, können dem Patienten Attribute zugewiesen werden. Damit kann er mit Hilfe von Klassifikationsalgorithmen, wie sie in Kapitel 4.2 beschrieben sind, einer Gruppe zugewiesen werden. In COMES<sup>®</sup> wird zur Klassifizierung die Software Rapid Miner verwendet.

### Risikobetrachtung

Moderne Mustererkennungsalgorithmen können zur Risikoabschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Erkrankungen herangezogen werden. Grundlage für die Klassifizierung solcher Risiken ist eine gute Datenlage. Der Klassifikationsalgorithmus selbst ist in Kapitel 4.2 näher erläutert.

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

Im COMES<sup>®</sup>-Center steht dafür die Software RapidMiner der gleichnamigen Firma zur Verfügung. Alternativ wird zudem die Software Weka, die von der University of Waikato, Neuseeland entwickelt wurde und unter der GNU General Public License zur Verfügung steht, verwendet. Beide Produkte haben Vor- und Nachteile, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

In dieser Arbeit wird genannter Sachverhalt anhand des Risikos, an einer Depression bei diagnostizierter Diabetes zu erkranken, beispielhaft in Kapitel 6.2.1 beschrieben.

### 5.3.7. Geräteverwaltung mittels RFID

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> beruht nicht nur auf der Verarbeitung von Daten, sondern beansprucht als Gesamtsystem auch die Erhebung wichtiger Parameter durch den Patienten selbst in seiner gewohnten Umgebung mit medizinischen Sensoren. Je nach Geschäftsmodell ist es daher wichtig bis entscheidend, eine vernünftige, einfach zu handhabende Geräteverwaltung anbieten zu können.

Eine kleine Anzahl von medizinischen Geräten kann praxistauglich mit einfachen, herkömmlichen Methoden, wie beispielsweise einer Excel-Liste verwaltet werden. Jedoch steigt bei wachsenden Systemen der Aufwand und somit auch die Fehleranfälligkeit. Die Wahrscheinlichkeit einer falschen Zuordnung und damit sogar dessen Verlust oder einer fehlerhaften Eingabe steigt signifikant an. Diesen Umstand begegnet COMES<sup>®</sup> durch den Einsatz modernster Technologien, die eine Verwaltung aller Geräte im System durchführt. Aufgabe ist es, dass in wenigen intuitiven Schritten ein Messkoffer samt variabler Anzahl an Geräten einem Patienten zugeordnet werden kann. Durch eine Historie sollen Zuweisungsfristen überwacht und frühere Besitzer und Zuweisungen eingesehen werden können. Nach der Rückgabe eines Messkoffers inklusive Geräte soll auf Vollständigkeit hin überprüft und die Geräte als verfügbar markiert werden.

Zunächst werden verschiedene Systeme zur automatischen Identifikation (AutoID) beleuchtet, ehe daraufhin das für COMES<sup>®</sup> ausgewählte Verfahren näher dargestellt wird. Nachfolgende Ausführungen sind an [154] angelehnt.

In Abbildung 5.50 ist eine Übersicht über die wichtigsten am Markt befindlichen automatischen Identifikationssysteme nach [155] gezeigt. Jedoch sind nicht alle der hier aufgelisteten Systeme für den Einsatz in COMES<sup>®</sup> geeignet. Biometrische Systeme werden nicht in Betracht gezogen, da die entsprechenden Geräte und Gegenstände keine biometrischen Merkmale, wie beispielsweise Sprache oder Fingerabdruck aufweisen. Auch die OCR-Systeme (Optical-Character-Systeme) sind für COMES<sup>®</sup> ungeeignet. Bei diesen Systemen werden Schriften erkannt. Der hohe Kostenaufwand und die Notwendigkeit, dass jedes Gerät manuell zum Lesegerät geführt werden muss, widerspricht der Vorgabe der Einfachheit.

Die Barcode-Systeme zählen zu den optischen Identifikationssystemen. Ihr Einsatzbereich ist breit gefächert, was sich in einem geschätzten Marktanteil von 75% aller Identifikationssys-

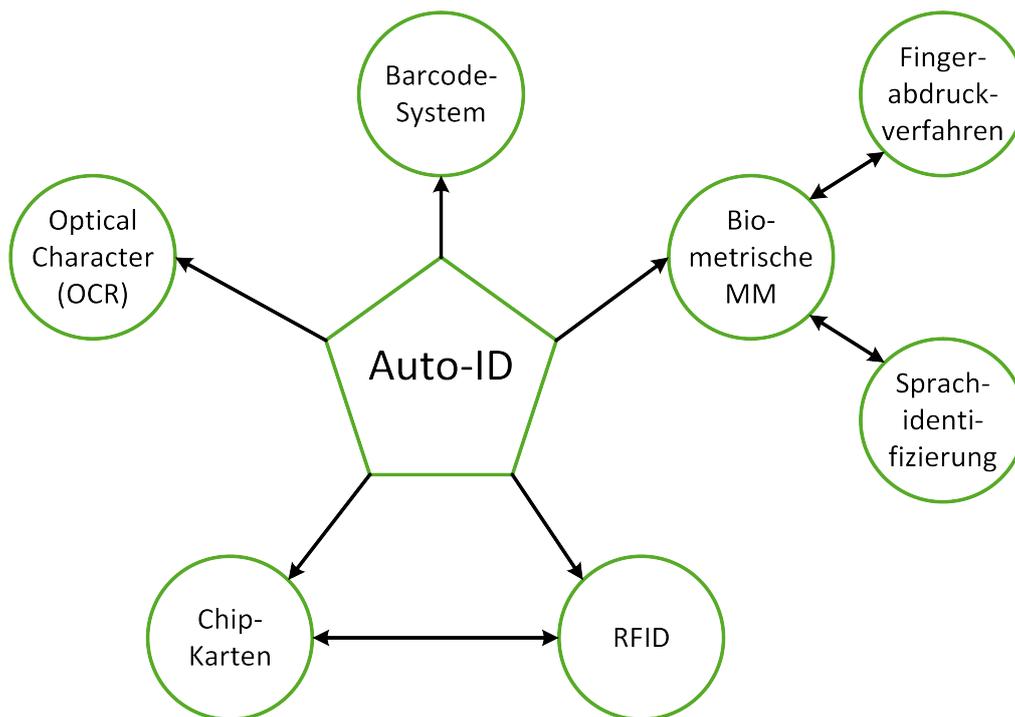


Abb. 5.50.: Übersicht über die wichtigsten automatischen Identifikationssysteme [155]

teme widerspiegelt [156]. Die Vorteile optische Identifikationssysteme sind schnell aufgezählt: sie sind vergleichsweise sehr günstig und bestehen durch unzählige Varianten, mit denen Gegenstände markiert werden können.

### Optische Identifikationssysteme

Die häufigsten und zugleich bekanntesten Vertreter optischer Identifikationssysteme sind 1-D bzw. 2-D Barcodes.

#### 1-D Barcode

Der 1-D Barcode ist ein binärcodiertes horizontal angeordnetes Strichmuster aus schwarzen Balken und Leerstellen. Je nach Standard werden mithilfe dieser Strichmuster Datenelemente als unterschiedliche Zeichensätze abgebildet. Zum Auslesen der Informationen, die anhand von weißen und schwarzen Balken dargestellt sind, wird ein optisches Lesegerät benötigt. Heutzutage haben sich etwa zehn Standards etabliert, die für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete ausgelegt sind. Zu den bekanntesten Vertretern zählen die EAN-Codierung, ein Standard speziell für die Lebensmittelindustrie, sowie die UPC-Codierung, die im US-amerikanischen Einzelhandel Verwendung findet. Beide Standards sind mittlerweile kompatibel.

Eine typischer EAN-13 Barcode besteht aus 13 Ziffern. Die ersten zwei kennzeichnen das Land, die nächsten fünf bestimmen die bundeseinheitliche Betriebsnummer (BBN), die anschließenden fünf Nummern stellen die individuelle Artikelnummer des Herstellers dar und

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

die letzte Zahl ist eine Prüfziffer.

Eine für das Projekt COMES<sup>®</sup> wesentlich interessantere Codierung ist der sogenannte Code 128. Hierbei werden Strichbreite und Lückenbreite variiert, wobei die Gesamtbreite von Strich und Lücke gleich bleibt. Dadurch wird die Lesbarkeit verbessert und die Informationsdichte erhöht.

Die Verwendung von 1-D Barcodes weist auch gewisse Nachteile auf [156]:

- Analoge Datencodierung (Vermessung der Strichbreite und -abstände)
- Hoher Platzbedarf, vor allem in der Breite
- Geringe Datensicherheit
- Lesen nur aus einer Richtung bei direktem Sichtkontakt

### *2-D Barcode*

Im Gegensatz zu den 1-D Barcodes, die sich in die Breite ausdehnen, sind 2-D Barcodes quadratisch aufgebaut. Sie besitzen eine  $N \times N$  Anordnung von binär codierten Elementen oder Zellen gleicher Größe sowie einem Suchmuster. Dadurch bestimmt ein über die Größe definiertes Bitmuster die Information und nicht mehr Abstand und Breite der Striche. Auch im Bereich der 2-D Barcodes haben sich zehn verschiedene Standards etabliert, die über den internationalen Fachverband AIM Global standardisiert werden. Sie unterscheiden sich in Parametern wie feste oder variable Größen, Art des Suchmusters oder codierbaren Datenmengen. Mit Hilfe der Fehlererkennung ist es möglich, je nach Codierung und Größe bis zu 50% des Datenfeldes zu korrigieren [156].

Durch Einführung des 2-D Barcodes konnten gegenüber dem 1-D Barcode folgende Verbesserungen erzielt werden:

- Reduktion des Platzbedarfs
- Lesen aus allen Orientierungen, lediglich Sichtkontakt
- Binäre Codierung, lesbar bei geringerem Kontrast
- Höhere Informationsdichte
- Erhöhte Lesesicherheit durch Fehlerkorrektur

### Radio-Frequency Identifikation

Neben der optischen Identifizierung etabliert sich immer mehr die Radio-Frequency Identification (Hochfrequenz-Identifikation), kurz RFID. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen automatischen Identifikationssystemen ist der, dass mittels RFID eine automatische Identifizierung ohne Sichtkontakt erfolgen kann. Heutzutage liegt der Fokus häufig darauf, spezielle Informationen dem Objekt mit auf den Weg zu geben. Derartige Daten können beispielsweise der Status eines Fertigungsprozesses von Produktionsgütern sein. Je nach Auswahl des Chips auf dem RFID-Transponder ist es möglich, ein Datenvolumen im Bereich von einigen 10 kBytes zu speichern. Des Weiteren bietet die RFID-Technologie die sogenannte Pulkfähigkeit an. Das bedeutet, dass mit einem Lesevorgang viele Transponder gleichzeitig ausgelesen werden können [156].

Derzeit ist die Entwicklung im Bereich von RFID stetig fortschreitend. Neue Anwendungsgebiete erfordern neue Weiterentwicklungen. Mit der Ankündigung mehrerer Kreditinstitute, welche die Möglichkeit der Bezahlung mittels NFC (Near Field Communication), einem weiteren Standard des RFID, anbieten wollen - diese Art der Bezahlung ist in skandinavischen Ländern schon etabliert -, ist die zukünftige Entwicklung noch lange nicht am Ende.

Der grundsätzliche Aufbau eines jeden RFID-Systems ist in Abbildung 5.51 illustriert.

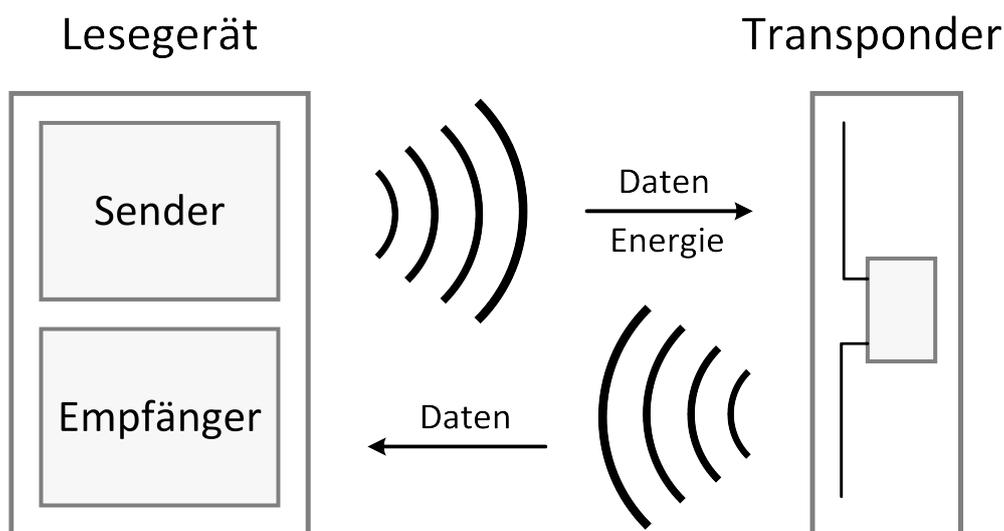


Abb. 5.51.: Schematischer Aufbau eines RFID-Systems mit Lesegerät und Transponder nach [156]

Ein RFID-System besteht aus zwei Komponenten: einem Lesegerät und einem Transponder. Die Aufgabe des Lesegerätes ist es, Befehle von der übergeordneten Steuerung entgegenzunehmen und die geforderten Aktionen auszuführen. Als Schnittstelle werden überwiegend RS-232, Ethernet, digitale I/O sowie vereinzelt USB angeboten. An das Lesegerät ist eine Antenne, oft mehrere angeschlossen oder bereits integriert. Das Senden und Empfangen kann

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

von unterschiedlichen Antennen erfolgen. Sie werden in vielen Varianten gebaut. Abhängig von dem jeweiligen Einsatzgebiet ist das Antennendesign optimiert auf Reichweite, Pulkfähigkeit, RFID-Technologien und -Frequenzen oder Umgebungsbedingungen wie Widerstandsfähigkeit gegen Schmutz, Wasser, Temperaturen oder Vibrationen.

Über das Trägermedium Luft werden die von der Antenne abgestrahlten elektromagnetischen Wellen vom Transponder empfangen. Ein Transponder besteht im einfachsten und häufigsten Fall aus einer Antenne und einem Chip. Die elektromagnetischen Wellen versorgen ihn einerseits mit Energie und übertragen andererseits auch die benötigten Daten. Der Chip wertet die empfangenen Daten aus, generiert daraus das benötigte Antwortsignal und sendet es zurück an das Lesegerät. Das Lesegerät gibt die Daten schließlich an die übergeordnete Steuerung weiter [156].

Die Datenübertragung mittels RFID erfolgt entweder per induktiver, kapazitiver oder elektromagnetischer Kopplung. Die kapazitive Kopplung wird hier nicht näher beschrieben, da sie nur für Entfernungen weniger Zentimeter gedacht ist und daher für die Erfassung der Geräte nicht interessant ist.

Die Daten- und Energieübertragung mit induktiver Kopplung erfolgt über das Magnetfeld. Das Prinzip ist dem eines Transformators sehr ähnlich. In der Senderspule wird ein Magnetfeld durch Wechselstrom erzeugt, das in der Empfängerspule eine Spannung induziert. Bei einem RFID System erzeugt die Antenne des Lesegerätes das Magnetfeld und die Antenne des Transponders induziert die Spannung. Dem Magnetfeld wird damit Energie entzogen. Die Wechselspannung wird durch einen Gleichrichter in Gleichspannung umgewandelt, womit der Chip des Transponders versorgt wird. Damit ergibt sich als maximal möglicher Abstand derjenige, bei dem der Chip gerade noch mit ausreichend Energie versorgt werden kann und in der Lage ist, ein Signal zurückzusenden. Eine maximale Leseentfernung liegt bei unter einem Meter, weshalb man auch von einem sogenannten Short Range System spricht. Das Zurücksenden eines Signals vom Transponder erfolgt durch das hinzu- und wieder abschalten eines Widerstandes. Durch die Impedanzänderung wird dem Magnetfeld mehr Energie entzogen. Das wird an der Senderspule erkannt und daraus ein Signal erstellt. Dieses Verfahren nennt man Lastmodulation [156], [157].

Im Gegensatz zu den induktiven Systemen, in denen rein die magnetische Komponente verwendet wird, zeichnen sich UHF-Systeme (Ultra-Hochfrequenz-Systeme) durch die elektromagnetische Kopplung aus. Das bedeutet, es wird ein magnetisches und elektrisches Feld ausgestrahlt. Der UHF-Bereich liegt zwischen 300 MHz und 3000 MHz, wobei in Europa meist der 868 MHz-Bereich benutzt wird. Anders als bei induktiven Systemen, wo Spulen mit vielen Wicklungen zum Einsatz kommen, benutzt man bei der elektromagnetischen Übertragung sowohl beim Sender als auch beim Transponder Dipolantennen. Diese können die unterschiedlichsten Formen annehmen. Durch die erlaubte Abstrahlleistung von 2W in Europa sind damit Entfernungen von bis zu 5 Meter und mehr erreichbar. Die ausgestrahlte Welle wird am Transponder eingekoppelt und gleichgerichtet. Sie dient damit der Energieversorgung des Transponder-Chips. Zudem wird die Welle am Transponder reflektiert und zum Sender

## 5. COMES<sup>®</sup>- ein telemedizinisches Assistenzsystem

zurück gestreut. In der Fachsprache wird dies „Backscatter“ bzw. „Rückstreuung“ genannt. Um möglichst gute Reflektionseigenschaften zu bekommen, sollte der Transponder eine in dem verwendeten Frequenzband optimierte Antenne haben. Da anders als bei der induktiven Kopplung die eingekoppelte Leistung sehr gering ist, benötigt man ein sehr stromsparendes Schaltungsdesign. Die Informationsübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird durch die Manipulation der reflektierten Wellen erzeugt. Das erfolgt durch Anpassen der Resonanzeigenschaften des Transponders, also über die Impedanz der Antenne. Dies wird durch den Chip gesteuert. In der Zeit, in der der Transponder antwortet, muss das Lesegerät ein unmoduliertes Signal aussenden [156], [157].

Bezüglich der Energieversorgung von RFID-System wird zwischen passiven, semi-aktiven und aktiven Systemen differenziert.

Passive System haben keinerlei eigene Energieversorgung. Dadurch reduziert sich die Bauform auf Antenne und Spule und gestaltet die Herstellung als relativ klein und günstig. Die benötigte Energie wird von außen über ein magnetisches oder elektromagnetisches Wechselfeld zugeführt. Da passive Transponder ohne jede interne Stromversorgung, wie einer Batterie, auskommen, ist ihre Lebensdauer nahezu unbegrenzt [156].

Im Gegensatz dazu sind semi-aktive Systeme mit einer internen Batterie ausgestattet. Diese zusätzliche Energie wird immer dann verwendet, wenn der Chip zusätzliche Funktionen, wie beispielsweise Temperaturmessung, erfüllen soll und die dafür notwendige Energie aus dem Wechselfeld nicht ausreicht. Ebenso ist dadurch eine Vergrößerung der Übertragungsstrecke möglich. Neben den notwendigen Austausch der Batterie sind die bedeutend höheren Herstellungskosten als nachteilig anzusehen [156].

Schließlich beziehen aktive Systeme keine Energie aus dem ausgestrahlten Wechselfeld, sondern nutzen dies rein zur Datenübertragung. Sie werden vollständig aus einer Batterie gespeist und erzeugen ein eigenes Sendesignal. Aktive Systeme werden gerne z.B. bei Ortungssystemen (RTLS) eingesetzt [156].

Eines der ausschlaggebendsten Merkmale eines RFID-Systems ist der Frequenzbereich. Damit wird der Anwendungsbereich des Systems festgelegt. Der Frequenzbereich reicht von einigen kHz bis hin zu 100 GHz. Es wird nicht das komplette Spektrum genutzt, da die Vergabe von erlaubten Frequenzen hoheitlich von nationalen Behörden geregelt ist. Zu den weitestgehend normierten und in Europa zugelassenen Frequenzen zählen die sogenannten „Low Frequency“ (9 - 148,5 kHz), „High Frequency“ (13,56 MHz), „Near Field Communication“ (13,56 MHz), „Ultra High Frequency“ (300 MHz - 3 GHz) sowie „Micro Wave“ (1 GHz - 300 GHz) [157].

### **Bewertung der Auto-ID Systeme**

Im Vorhergehenden wurden die gängigsten Techniken automatischer Identifikationssysteme auf dem Markt beleuchtet. Jedes dieser Systeme ist für verschiedene Anwendungsfälle optimiert und hat seine Vor- und Nachteile. Wie bereits einleitend erwähnt, sind die Anforderungen für

## 5. COMES®- ein telemedizinisches Assistenzsystem

COMES® klar definiert: Einfachheit, intuitive Bedienung, schnelle Bearbeitung sämtlicher Geräte inklusive Messkoffer und Zuverlässigkeit.

Wie Tabelle 5.6 zeigt, sind alle drei Systeme gut für den Einsatz in COMES® geeignet. Der größte Nachteil bei den Barcode-Systemen liegt in der sehr langen Verarbeitungszeit durch den Anwender, da er jedes Gerät einzeln anfassen muss. Damit steigt auch die Fehleranfälligkeit, ein Gerät zu vergessen. Gegen die RFID-Technologie hingegen sprechen hohe Einmalkosten und eine etwas geringere Zuverlässigkeit bzgl. der Erkennungsrate. Versuche haben gezeigt, dass verschiedene Tags verwendet werden müssen und die Erkennung sämtlicher Geräte nicht immer aufs erste Mal erfolgt. Nichtsdestotrotz ist das RFID-System vor allem wegen des hohen Bedienkomforts und der geringen Fehleranfälligkeit bei der Bedienung den Barcode-Systemen vorzuziehen.

Auto-ID	Einfachheit	intuitive Bedienung	Schnelle Bearbeitung	Zuverlässigkeit	Preis
1-D Barcode	++	+	-	++	++
2-D Barcode	++	++	o	++	++
RFID	++	++	++	+	--

**Tab. 5.6.:** Vergleich ausgewählter Auto-ID Systeme nach Einfachheit, intuitive Bedienung, schnelle Bearbeitung, Zuverlässigkeit und Preis  
(++: sehr gut, +: gut, o: befriedigend, -: ausreichend, -: mangelhaft)

Durch eine ausführliche Vermessung der Transponder und somit gute Abstimmung mit den zu identifizierenden Geräten ist im Projekt COMES® der Grundstein für ein prozesssicheres und ausgereiftes RFID-System gelegt worden. Es können durch drei verschiedene Transponder alle Geräte erkannt werden. Es handelt sich dabei um einen Wäschetag, einen Anhänger und einem Inlay mit speziellem Abstandsmaterial. Die meisten Geräte werden durch das optimierte Inlay abgedeckt, wodurch eine große Stückzahl erreicht werden kann. Im Einklang mit einem für dieses Einsatzgebiet ausgewählten RFID Lesegerät unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren und Auswahlkriterien ist eine Grundlage für ein leistungsfähiges und hoch modernes Buchungs- und Logistiksystem entstanden, welches prozesssicher und überwiegend zuverlässig die Geräte erkennt.

Durch ein Terminal, was in der aktuellen Lösung mit einem Desktop-Rechner realisiert ist, werden alle relevanten Buchungen mit einer benutzerfreundlichen und strukturierten Grafikerfläche durchgeführt. Automatisiert erfolgen im Hintergrund alle benötigten Operationen mit dem RFID Lesegerät oder der Datenbank. Die Software ist modular aufgebaut. Durch definierte Schnittstellen und abgegrenzte Module lassen sich Bereiche, wie z.B. die Anbindung zum RFID Lesegerätes oder der Datenbank ersetzen, ohne den Kern der Software zu verändern.

# 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> ist eine sehr mächtige Plattform für unterschiedliche Anwendungsgebiete. Um deren Nutzen nachweisen zu können, ist es notwendig, dass Studien dies belegen, vor allem da es sich um eine medizinische Anwendung handelt. Es ist aber nicht Aufgabe dieser Arbeit, groß angelegte Studien durchzuführen. Vielmehr soll ein technisch stabiles System entstehen und mit Hilfe von Feldtests die Wirksamkeit von COMES<sup>®</sup> nachgewiesen werden. Im folgenden wird daher die Technik von COMES<sup>®</sup> erprobt und der Nutzen für Ärzte und Patienten, vor allem durch vier Feldtests, untersucht.

## 6.1. Untersuchung der Technik

Die Technik ist das Standbein von COMES<sup>®</sup>. Um einen hohen Qualitätsstandard zu sichern, dürfen es sich vor allem medizinische Systeme nicht erlauben, dass Schwierigkeiten in der Bedienung oder Fehler in der Datenübertragung auftreten. Es ist demnach auch für COMES<sup>®</sup> wichtig, die Stabilität der Schnittstellen und die Benutzerfreundlichkeit zu untersuchen.

Aus technischer Sicht betrachtet, ist es entscheidend, dass die Schnittstelle zwischen medizinischem und mobilem Endgerät, wie beispielsweise einem Smartphone, sowie zwischen mobilem Endgerät und COMES<sup>®</sup>-Center einwandfrei funktioniert. Es werden daher diverse Untersuchungen anhand von Testprozeduren durchgeführt, die die Stabilität der Datenübertragung vom medizinischen Gerät bis in das COMES<sup>®</sup>-Center untermauern sollen. Des Weiteren wird das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für mobile Geräte mittels diverser Fragebögen evaluiert.

### 6.1.1. Funkschnittstelle

Im Projekt COMES<sup>®</sup> werden als Funkschnittstelle Bluetooth, NFC und ANT+ verwendet. Da ANT+ als Funkstandard in Smartphones und Tablets derzeit kaum eine Rolle spielt, werden an dieser Stelle nur die Tests von Bluetooth und NFC angeführt.

Wie bereits ausführlich in Kapitel 5.3.5.2 beschrieben, verarbeitet die Android-Applikation im Hintergrund die eingehenden Bluetooth- bzw. NFC-Daten und schickt diese anschließend an das COMES<sup>®</sup>-Center. Eine reibungsfreie und ständig funktionierende Bluetooth-Kommunikation hängt von verschiedenen Faktoren ab: vom Bluetooth-Modul und der Implementierung des

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

Bluetooth-Stack sowohl im medizinischen Messgerät als auch im Smartphone des jeweiligen Herstellers sowie der verwendeten Android-Version. Ähnlich verhält es sich mit der NFC-Kommunikation. All diese Faktoren und Kombinationen aus medizinischen Geräten, Smartphones und Android-Versionen werden im Nachfolgenden untersucht und deren Ergebnisse dargestellt.

### Test 1: Funktionalität COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

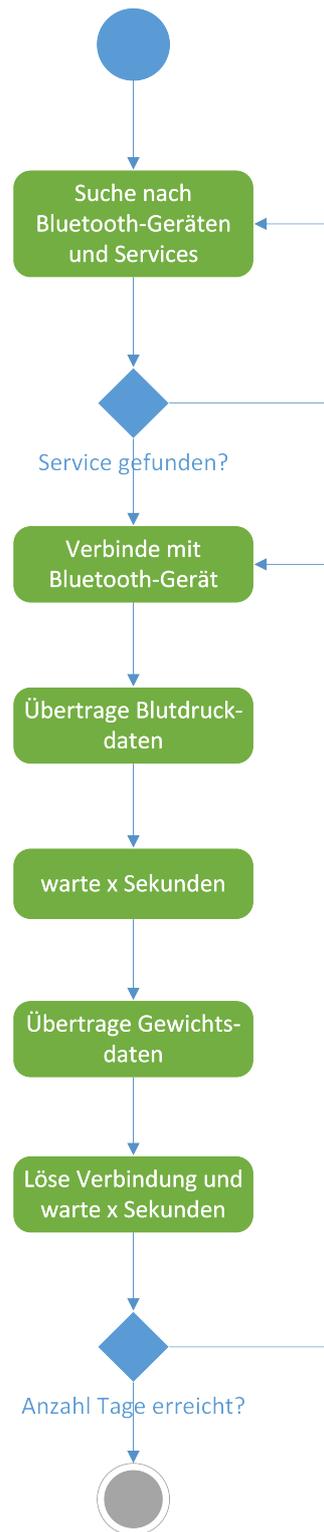
Der erste und zugleich wichtigste Test verfolgt das Ziel, die in COMES<sup>®</sup> entworfene Android-Applikation hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit auf verschiedenen mobilen Endgeräten und für unterschiedliche Android-Versionen auf diesen mobilen Endgeräten zu überprüfen. Abbildung 6.1 zeigt den schematischen Aufbau des Versuchs.



**Abb. 6.1.:** Schematische Darstellung des Tests zur Überprüfung der Bluetooth-Kommunikation mit verschiedenen mobilen Endgeräten und Android-Versionen

Zunächst wird für einen handelsüblichen PC ein Java-Programm geschrieben. Die Aufgabe dieses Programms ist es, Bluetooth-Daten an das mobile Endgerät zu senden und auf deren Antwort zu warten. Damit soll es das medizinische Endgerät simulieren. Anfangs sucht das Programm nach Bluetooth-Geräten in der näheren Umgebung. Wird das entsprechende mobile Endgerät gefunden, so werden dessen Services durchsucht, ob der benötigte Service vorhanden ist. Stimmt beides überein, so wird eine Verbindung zwischen PC und mobilen Endgerät aufgebaut. Das Java-Programm merkt sich die Verbindungsdaten. Anschließend werden morgendliche zufällig generierte Blutdruckwerte übertragen und auf die Antwort der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation maximal eine Sekunde lang gewartet. Daraufhin wird die Verbindung geschlossen. Nach drei Sekunden wird wiederum eine Verbindung mit dem mobilen Endgerät aufgebaut und zufällig generierte Gewichtswerte am Morgen übertragen. Nachdem die COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation binnen einer Sekunde eine Antwort geschickt hat, wird die bestehende Verbindung geschlossen und drei Sekunden gewartet. Dieser Prozess wird nun für abendliche Blutdruck- und Gewichtswerte wiederholt. Damit ist ein Tag abgeschlossen. Schließlich wird dieser Ablauf 365 mal durchgeführt, so dass Datenübertragungen von einem Jahr bei je zwei Messungen von Blutdruck und Gewicht pro Tag vorliegen. Somit handelt es sich um 1460 Datenverbindungen, die das mobile Endgerät durchführt, ohne dass es ausgeschaltet wird oder ein System-Update erfolgt. Der Ablauf des Java-Programms ist schematisch in Abbildung 6.2 dargestellt.

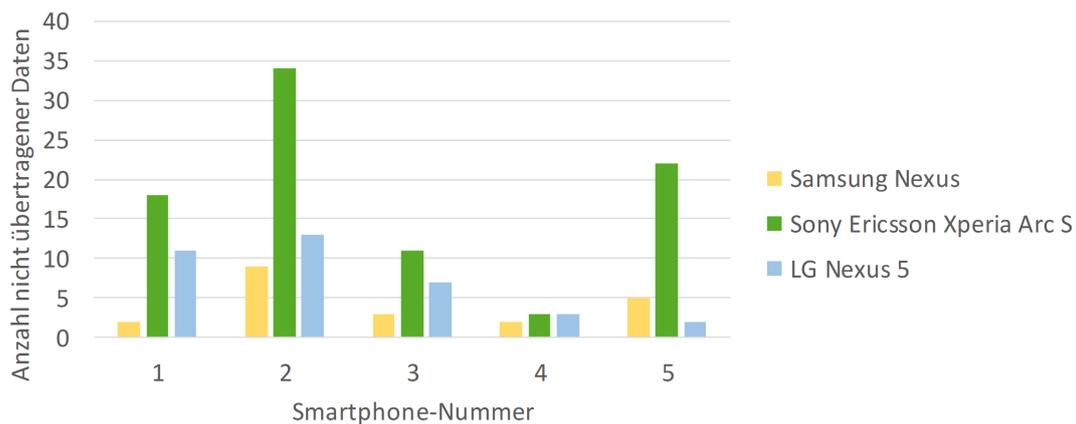
## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>



**Abb. 6.2.:** Schematische Darstellung des Programmablaufs des Java Codes für den Tests zur Überprüfung der Bluetooth-Kommunikation mit verschiedenen mobilen Endgeräten und Android-Versionen

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

Für diese Untersuchung werden je fünf Smartphones der Modelle Sony Ericsson Xperia Arc S mit Android-Version 4.0.4, Google Samsung Nexus mit Android-Version 4.3 und Google LG Nexus 4 mit Android-Version 4.4.3 verwendet. Als Ergebnis dieser Untersuchung ist festzuhalten, dass beim Sony Ericsson Xperia Arc S über 97% und bei den anderen beiden Modellen über 99% der versandten Daten an das Smartphone und schließlich an die COMES<sup>®</sup>-Datenbank erfolgreich übertragen wurden. Als weiteres Ergebnis ist anzumerken, dass 100% der Daten, die an das Smartphone gesandt wurden, auch an die COMES<sup>®</sup>-Datenbank übertragen wurden. In Abbildung 6.3 ist die Anzahl der nicht übertragenen Messwerte der drei Modelle dargestellt.



**Abb. 6.3.:** Anzahl der nicht übertragenen Bluetooth-Datensätze ausgehend von 1460 Messungen im Rahmen des Tests zur Bluetooth-Datenkommunikation mit der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bluetooth-Datenkommunikation mit der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation sehr gut funktioniert. Es bleibt noch anzumerken, dass dieses gute Ergebnis einer Anpassung des Codes außerhalb der Programmierrichtlinien von Android und der Überarbeitung der Bluetooth-Bibliothek in der Android-Version 4.0 sowie 4.2 zuzuschreiben ist.

### Test 2: Funktionalität medizinisches Endgerät und COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

In einem zweiten Versuch soll untersucht werden, ob die Datenkommunikation auch zwischen einem medizinischen Sensor und dem mobilen Endgerät mit der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation erfolgreich funktioniert. Da ein häufiges Blutdruckmessen als nicht gesundheitsfördernd einzuschätzen ist, wird lediglich die Waage des Herstellers AND Medical für diesen Test verwendet. Es werden je 500 Messungen mit insgesamt fünf Smartphones drei verschiedener Hersteller und Android-Versionen durchgeführt. Dabei wird zusätzlich unterschieden, ob die COMES<sup>®</sup>-Applikation geöffnet (App-On) und die Smartphone-Sperre ausgeschaltet (Lock-Off) oder eingeschaltet (Lock-On) ist. Als Resultat wird angegeben, ob die Datenübertragung vom medizinischen Sensor an das Smartphone erfolgreich war oder nicht.

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES®

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass insgesamt 98% der gesendeten Werte beim ersten Mal übertragen worden sind. Dabei ist in 40% der Fälle die Applikation geöffnet und in je 30% der Fälle die Smartphone-Sperre aus- bzw. eingeschaltet gewesen. Es ist anzumerken, dass 60% der nicht übertragenen Werte bei einem Smartphone der Firma Sony Ericsson Xperia S mit der Android-Version 4.1.2 aufgetreten sind.

### **Test 3: Funktionalität der Datenkommunikation bei unterschiedlichen Energiezuständen der mobilen Endgeräte**

Eine Nebenbeobachtung erster Patiententests war es, dass die Probanden die Smartphones aus Angst, der Akkustatus könnte für eine Datenübertragung zu niedrig sein, stets am Ladegerät angeschlossen ließen. Daher sollte untersucht werden, ob der Ladestatus Auswirkung auf die Datenübertragung hat.

Dazu werden zwei Testdurchläufe mit vier Smartphones und vier Waagen durchgeführt. Pro Smartphone werden jeweils 20 Gewichtsmessungen bei den Ladezuständen 50%, 15%, 10%, 5% sowie 1%-2% durchgeführt.

Das Ergebnis dieses Tests zeigt, dass eine fehlerfreie Datenübertragung unabhängig des Ladezustands erfolgt. Sämtliche Messungen wurden erfolgreich an das Smartphone übertragen.

### **Test 4: Funktionalität der Kombination aus medizinischem Endgerät und mobilen Endgerät**

Eine weitere wichtige Untersuchung ist der Test zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Bluetooth-Datenübertragung auf Grundlage verschiedener medizinischer Geräte, Smartphones und Android-Versionen. Dafür werden Probanden mit einem Smartphone, einem Blutdruckmessgerät und einer Waage ausgestattet und dazu angehalten, eine Woche lang ihren Blutdruck und ihr Gewicht jeweils morgens und abends zu messen. Daraufhin wird täglich überprüft, ob die Messwerte in der Datenbank eingetragen sind oder nicht.

Insgesamt haben an diesem Versuch 48 Probanden teilgenommen. Sie wurden mit Smartphones der Firmen SonyEricsson, LG oder Samsung mit den Android-Versionen 4.1.2, 4.2 und 4.3 ausgestattet sowie mit Blutdruckmessgeräten und Waagen der Firmen AND Medical und IEM GmbH. Dabei wurden zwei wichtige Erkenntnisse gewonnen:

- Die verwendete Android-Version hat Einfluss auf die Stabilität der Bluetooth-Übertragung
- Eine stabile Bluetooth-Kommunikation ist abhängig von den verwendeten medizinischen Messgeräten

Die Android Bluetooth-Bibliothek wurde mit dem Update auf die Version 4.2 gründlich überarbeitet, was zu einer Verbesserung der Datenkommunikation beigetragen hat. Des Weiteren war zu beobachten, dass bei der Verwendung der medizinischen Messgeräte der Firma IEM mit den benutzten mobilen Endgeräten häufiger Fehler aufgetreten sind. Hier

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

wurden in knapp 17% der Fälle die Messwerte nicht übertragen, wohingegen bei Messgeräten der Firma AND nur 4% der gemessenen Werte nicht übertragen wurden. Dies ist anschaulich in Abbildung 6.4 dargestellt.



**Abb. 6.4.:** Auswertung des Tests zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Bluetooth-Datenübertragung auf Grundlage verschiedener medizinischer Geräte, Smartphones und Android-Versionen

### Test 5: Funktionalität der NFC-Kommunikation mit der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation

Neben der Bluetooth-Kommunikation wird auch die NFC-Kommunikation einem Test unterzogen. Dieser wird mit dem in Kapitel 6.2.2 beschriebenen Feldtest abgegolten. Dazu wurden insgesamt 40 Probanden, wovon 36 Probanden den Test beendet haben, unter anderem mit einem Schrittzähler, der eine NFC-Schnittstelle besitzt, ausgestattet. Sie wurden dazu angehalten, mindestens einmal täglich ihre Schritte zu übertragen.

Bei diesen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Datenübertragung per NFC und die anschließende Übertragung in das COMES<sup>®</sup>-Center reibungslos funktioniert hat. Es wurden von allen Probanden die Schritte abends erfolgreich übertragen und keinerlei Beschwerden der Probanden angemerkt.

### 6.1.2. Webservice und Backend

Die Hauptaufgabe der COMES<sup>®</sup>-Android-Applikation neben dem Empfangen von eingehenden Funkdaten ist die Weiterleitung dieser an das COMES<sup>®</sup>-Center. Die Funktionsweise hierfür ist in Kapitel 5.3.5.2 ausführlich beschrieben. Damit die empfangen Messwerte aber schließlich

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES®

dem Anwender zur Verfügung stehen, bedarf es eines funktionierenden Webservice, der unter anderem die Messwerte entsprechend in die COMES®-Datenbank einträgt. Der Webservice mit seinen sämtlichen Funktionen ist in Kapitel 5.3.3 dargestellt.

Zur Überprüfung dieser Funktionalität können alle im vorhergehenden Kapitel 6.1.1 erläuterten Versuche herangezogen werden. Bei all diesen Tests wurden die empfangenen Daten an das COMES®-Center übertragen. Bei der Testauswertung wurde stets überprüft, ob die Daten entsprechend in der Datenbank eingetragen wurden.

Als Ergebnis dieser Tests kann festgehalten werden, dass sämtliche vom Smartphone empfangenen Daten gesendet und schließlich vom Webservice positiv verarbeitet wurden. Alle Daten stehen somit dem Anwender zur Verfügung.

Schließlich wurde mit Hilfe des Programms SoapUI der Firma SmartBear Software, das sich zum Testen von SOAP-Verbindungen eignet, überprüft, ob Messwerte übertragen und gleiche Messwerte nicht doppelt in die COMES®-Datenbank eingetragen werden. Dazu wurden insgesamt 100 Messwerte verschiedener Parameter, wie Blutdruck, Blutzucker, Aktivität oder Gewicht, je zweimal mit dem selben Wert übertragen.

Auch hier hat sich die COMES®-Software, wie erwartet, positiv verhalten und jeden Messwert erfolgreich nur einmal in die COMES®-Datenbank eingetragen.

### 6.1.3. Evaluation des COMES®-Webfrontend für mobile Geräte

Neben der bereits in den vorausgegangenen Kapiteln betrachteten Technik ist es nicht minder wichtig, dass die Bedienung von COMES® für den Anwender möglichst einfach gestaltet ist und keine Herausforderung darstellt. Diesem wird einerseits dadurch Rechnung getragen, dass der Anwender lediglich die Messung an dem medizinischen Messgerät starten muss; die weitere Datenübertragung erfolgt vollautomatisch. Andererseits muss das COMES®-Webfrontend für mobile Handheld-Geräte derart gestaltet sein, dass es übersichtlich, altersgerecht und einfach zu bedienen ist.

Zur Überprüfung dieser Handhabbarkeit des COMES®-Webfrontend sowohl für mobile Endgeräte als auch am PC wurde in Kooperation mit dem COMES®-Test- und Trainingszentrum (CoKeTT) der Hochschule Kempten eine Usability-Befragung durchgeführt. Darin wurde zehn männlichen und fünf weiblichen Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren das COMES®-System ausgehändigt, die dieses drei Wochen lang benutzten, und anschließend einen Fragebogen dazu beantworteten. Neben der Bedienung der Benutzeroberflächen für mobile Endgeräte und dem PC wurde auch nach dem Vertrauen in die Messwerte gefragt [158].

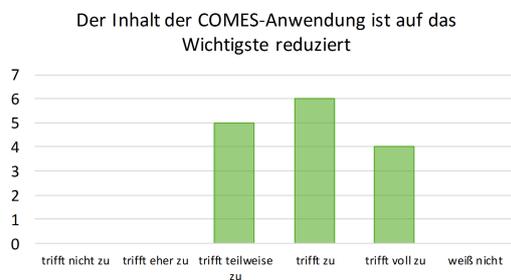
Die Ergebnisse dieses Tests lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Dem COMES®-Webfrontend für mobile Endgeräte wird eine gute Übersichtlichkeit und

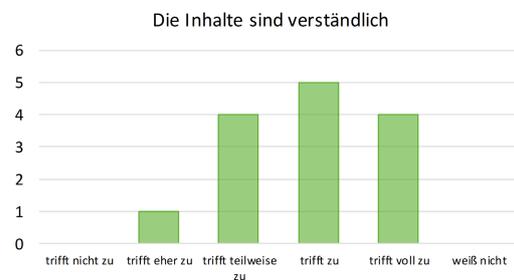
## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

ein einfacher Aufbau attestiert.

- Das Design ist ansprechend.
- Der geringe Funktionsumfang wird überwiegend positiv erwähnt, jedoch führt dies auch zu einer negativen Kritik.
- Wie Abbildung 6.5 zeigt, werden die Aussagen, dass der Inhalt auf das Wichtigste reduziert und verständlich sei, überwiegend positiv bejaht.
- Auch ein gutes Zurechtfinden und schnelles Erreichen des Ziels werden durchwegs positiv bewertet, wie Abbildung 6.6 zeigt.
- Dem COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für PC, wie es in Kapitel 5.3.4 beschrieben ist, wird ein professioneller Eindruck und eine Einfachheit in der Bedienung zugeschrieben.

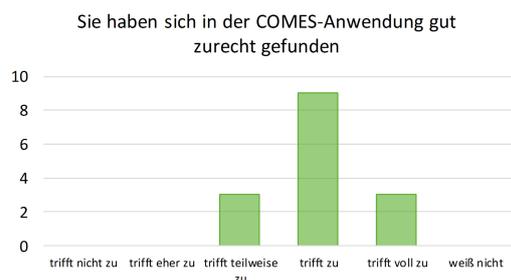


(a) Antworten auf die Aussage: „Der Inhalt der COMES<sup>®</sup>-Anwendung ist auf das Wichtigste reduziert“.

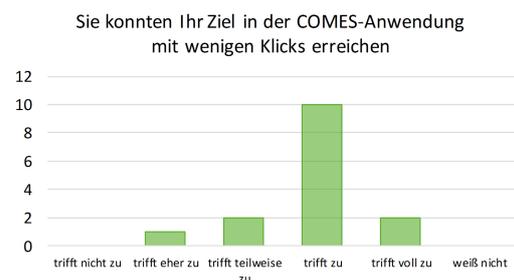


(b) Antworten auf die Aussage: „Die Inhalte sind verständlich“.

**Abb. 6.5.:** Bewertung des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für mobile Endgeräte hinsichtlich Inhalt



(a) Antworten auf die Aussage: „Sie haben sich in der COMES<sup>®</sup>-Anwendung gut zurecht gefunden“.



(b) Antworten auf die Aussage: „Sie konnten Ihr Ziel in der COMES<sup>®</sup>-Anwendung mit wenigen Klicks erreichen“.

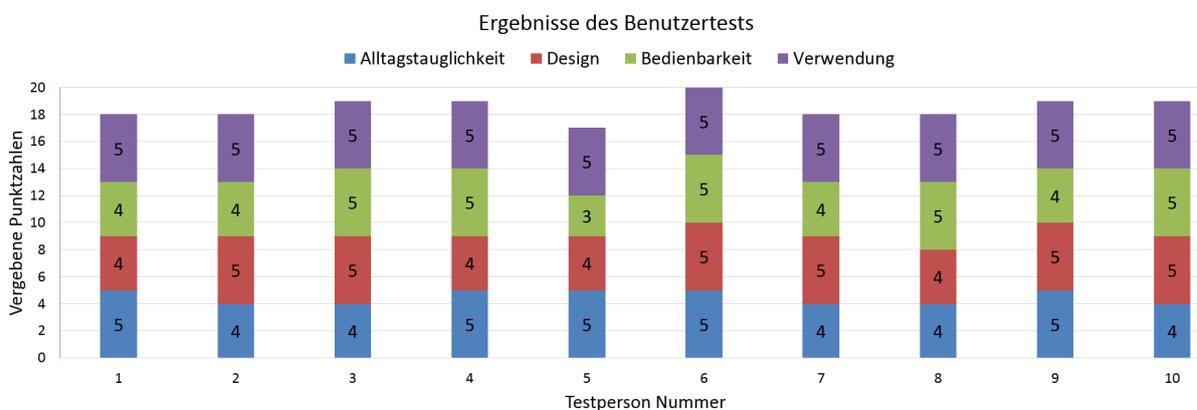
**Abb. 6.6.:** Bewertung des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für mobile Endgeräte hinsichtlich Handhabung

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

Es kann also gesagt werden, dass eine gute Umsetzung sowohl des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für PC als auch des COMES<sup>®</sup>-Webfrontend für mobile Endgeräte gelungen ist.

Darüber hinaus wurde das Modul für Diabetesmanagement, wie es in Kapitel 5.3.4.12 vorgestellt ist, mittels persönlichem Interview und eines Fragebogens einer Evaluation unterzogen [148]. Neben Alltagstauglichkeit und Design wurden Bedienbarkeit und die Möglichkeit der Verwendung abgefragt. Dazu wurden acht männliche und zwei weibliche Personen, die an keiner Diabetes-Erkrankung litten, mit einem Altersdurchschnitt von 25,4 Jahren befragt.

Die Testpersonen wurden nach einer kurzen Vorstellung des Themas der Befragung und der kurzen Einführung in das Thema der Diabetes mellitus Erkrankung mit dem Test des Programmes und der Bearbeitung des Fragebogens beauftragt. Bei der Beantwortung der Fragen zeigte sich folgende Punkteverteilung, wie in Abbildung 6.7 zu erkennen ist.



**Abb. 6.7.:** Grafische Darstellung des Ergebnis des Benutzertests bzgl. des Diabetesmanagement-Moduls mit einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 „die Aussage trifft gar nicht zu“ und 5 „die Aussage trifft völlig“ entspricht.

Zur besseren Auswertung wurde bei der Bewertung der Aussagen ein Punkteverteilungssystem eingeführt, das es möglich macht, die Aussagen wie in Abbildung 6.7 darzustellen. Hierbei wird angenommen, dass bei einer Bewertung einer Aussage mit „Trifft völlig zu“ fünf Punkte vergeben werden. Bei der Bewertung mit „Trifft eher zu“ werden vier Punkte vergeben. „Teils/Teils“ wird mit drei Punkten gewertet, während „Trifft eher nicht zu“ mit zwei Punkten eingeht. „Trifft gar nicht zu“ bedeutet einen Punkt für die Aussage. Damit ist eine Maximalpunktzahl von 20 Punkten möglich. Aus diesen Annahmen folgt die in Abbildung 6.7 sichtbare Punkteverteilung.

Nach Auswertung der Fragebögen kann als Ergebnis der Befragung festgehalten werden, dass die Resonanz auf die Software durchweg positiv ist. Dies belegt einer Durchschnittspunktzahl von 18,5 Punkten. Die Frage drei („Insgesamt war ich mit der Bedienbarkeit zufrieden“) ist mit einer Durchschnittspunktzahl von 4,4 Punkten das Schlusslicht in der Punkteverteilung auf die einzelnen Fragen bezogen. Es folgen die Fragen eins („Die Software ist alltagstauglich“) mit

einer Durchschnittspunktzahl von 4,5 bzw. die Frage zwei („Das Design finde ich ansprechend“) mit der Durchschnittspunktzahl von 4,6. Die Frage Nummer fünf („Als Mensch mit Diabetes könnte ich mir vorstellen, diese Anwendung zur Dokumentation zu verwenden“) ist mit einer Durchschnittspunktzahl von 5 von möglichen 5 Punkten der Spitzenplatz.

### 6.2. COMES<sup>®</sup> für Patienten

Einer der Grundgedanken des telemedizinischen Assistenzsystems COMES<sup>®</sup> ist die Emanzipation des Patienten. Dieser emanzipatorische Gedanke und damit die nutzenstiftende Wirkung von COMES<sup>®</sup> wird im Folgenden anhand zweier Beispiele näher beleuchtet.

#### 6.2.1. Frühzeitige Erkennung am Beispiel Depression und Diabetes

Wie bereits in Kapitel 5.3.6 erwähnt, können moderne Mustererkennungsalgorithmen zur Risikoabschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Erkrankungen herangezogen werden. Voraussetzung sind bereits bekannte und statistisch erwiesene Prävalenzen zweier oder mehrere Erkrankungen. Im folgenden wird ein Entscheidungsbaum am Beispiel des Risikos, an einer Depression bei diagnostizierter Diabetes zu erkranken, aufgezeigt.

##### 6.2.1.1. Zusammenhang von Depression und Diabetes

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Prävalenz klinisch manifester Depression und depressiver Symptome bei Patienten mit Diabetes Typ 2 höher ist als in der Allgemeinbevölkerung. Dabei können einerseits depressive Verstimmungen die Entstehung eines Diabetes Typ 2 begünstigen; andererseits kann auch Diabetes die Entstehung depressiver Symptome stark beeinflussen [159], [160], [161], [162].

Jedoch geht aus diesen Quellen eindeutig hervor, dass die Entstehung depressiver Symptome auf Grundlage eines Diabetes Typ 2 besser erforscht ist. Ein höheres Risiko kann beobachtet werden. Das weibliche Geschlecht, der Beziehungsstatus (verwitwet, alleinstehend, geschieden), ein jüngeres Alter und ein geringer sozio-ökonomischer Status stellen für Typ 2 Diabetiker ein erhöhtes Risiko dar, depressive Symptome zu entwickeln [163], [164]. Außerdem spielen der Schweregrad der Diabetes sowie die Insulinbehandlung eine gewichtige Rolle [159]. Einerseits kann die Behandlung depressiver Symptome bei Vorliegen einer Diabetes-Erkrankung die glykämische Kontrolle verstärken [165]. Andererseits kann eine unbehandelte depressive Symptomatik zu einer Abschwächung glykämischer Kontrolle bei Diabetikern führen [166], verhindert eine medizinische Behandlung [167] und beeinflusst die Lebensqualität des Patienten [168]. Obschon die negativen Effekte der Komorbidität depressiver Symptomatik und Diabetes bekannt sind, bleiben depressive Symptome bei Diabetikern in 80% der Fälle undiagnostiziert [169]. Ein Grund dafür ist die gesellschaftliche Stigmatisierung der Depression.

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES®

Es kann beobachtet werden, dass Diabetiker, die an einer depressiven Symptomatik leiden, größere Probleme haben, die ärztlich verordnete Behandlung durchzuführen als Diabetiker ohne depressiver Symptome [167]. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Vorliegen depressiver Symptome bei gleichzeitiger Erkrankung an Diabetes Typ 2 zu einer Erhöhung des Schweregrads des Diabetes führt. Außerdem sind Patienten mit komorbidem Diabetes und Depression stärker von kardiovaskulären Risikofaktoren betroffen als Diabetiker ohne depressiver Symptome [170].

### 6.2.1.2. Klassifikationsalgorithmus und Simulation

In COMES® wird deshalb auf Grundlage der wissenschaftlichen Daten ein Entscheidungsbaum erstellt, mit dessen Hilfe das Risiko, an depressiver Symptomatik bei Vorliegen eines Diabetes Typ 2 zu erkranken, abgeschätzt wird. Bei einem hohen Risiko kann einerseits untersucht werden, ob depressive Symptome bereits vorliegen, die somit frühzeitig behandelt werden können. Andererseits können Präventionen das Auftreten depressiver Symptome verhindern.

Für die Erstellung des Entscheidungsbaumes fehlen selbst erhobene Messdaten, weshalb auf Messdaten aus der Literatur zurückgegriffen wird. Dabei liegt das Augenmerk auf deutsch- und englischsprachigen Meta-Analysen. Es konnten Studien mit einer Gesamtzahl von 7.959 Patienten identifiziert werden [170], [159], [171], [164]. Da sich demographische Begebenheiten, ethnische und kulturelle Hintergründe sowie das Gesundheitssystem im Allgemeinen signifikant in den USA und Deutschland unterscheiden, werden lediglich deutsche Studien näher betrachtet mit einer Patientenzahl von 1.529 [159] und [164].

Die Tabelle 6.1 bietet einen Überblick über die untersuchten Patienten innerhalb der beiden deutschen Meta-Studien und der Prävalenz der betrachteten Kriterien, die die Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen betreffen. Die Hauptkategorien stellen Geschlecht, beruflicher und familiärer Status, Bildungsstand, Rauchverhalten, körperliche Aktivität, Vorliegen einer Hypertonie sowie Dauer der Erkrankung und HBA1c Level dar. Werden beide Meta-Analysen in der Gesamtheit betrachtet, so variiert die relative Häufigkeit der Komorbidität von Diabetes und Depression zwischen Männern und Frauen nur geringfügig. Das relative Risiko (RR) der Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen ist für Hausfrauen (RR = 28,57%) und Arbeitslose (RR = 20%) höher als in der Allgemeinbevölkerung, die ein relatives Risiko von 13,99% bzw. 11,25% haben. Betrachtet man den Familienstatus, so erhöht sich das Risiko dadurch, dass man alleinstehend (RR = 20%), geschieden oder verwitwet (RR = 15%) ist. Rauchen (RR = 18%) und Hypertonie (RR = 15%) tragen ebenso zu einem größerem Risiko bei wie Hyperglykämie (RR = 15,69%) und ein geringerer Bildungsstand.

Wie soeben aufgezeigt, können oben genannte Charakteristika, jeder für sich selbst betrachtet, einen Einfluss auf das Vorliegen einer Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen haben. Die Frage ist aber, wie die Kombination verschiedener Faktoren, wie beispielsweise weiblich, Hausfrau und im Ruhestand befindlich, das Risiko der Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen beeinflusst. Mit Hilfe moderner Data Mining-

6. Erprobung und Untersuchung von COMES®

<b>Beide Studien</b>	<b>Diabetes</b>	<b>Diabetes /ohne MDD</b>	<b>Diabetes /mit MDD</b>	<b>Relative Risk</b>
<b>Gesamtzahl Patienten</b>	1529	1315	214	0,13996076
<b>Geschlecht</b>				
männlich	791	681	110	0,13906448
weiblich	738	634	104	0,14092141
<b>Berufstätigkeit</b>				
Berufstätig	160	142	18	0,1125
Hausfrau	56	40	16	0,28571429
Arbeitslos	60	48	12	0,2
Rentner	845	732	113	0,13372781
<b>Familienstand</b>				
Ledig	51	41	10	0,19607843
Verheiratet	765	658	107	0,13986928
Geschieden/verwitwert	305	259	46	0,15081967
<b>Raucherstatus</b>				
Nie	610	522	88	0,1442623
Ehemals	344	301	43	0,125
Aktuell	139	114	25	0,17985612
<b>körperlich aktiv</b>	682	612	70	0,1026393
<b>Hypertonie</b>	1056	901	155	0,1467803
<b>Bildung</b>				
unter HS	221	192	29	0,13122172
HS	104	92	12	0,11538462
College	63	55	8	0,12698413
<b>Hyperglykämie</b>	51	43	8	0,15686275
<b>Dauer der Erkrankung</b>				
<6	121	107	14	0,11570248
7-16	142	123	19	0,13380282
>16	125	109	16	0,128
<b>Alter</b>				
18-48	137	121	16	0,11678832
49-62	135	111	24	0,17777778
>62	116	107	9	0,07758621
<b>HBA1C</b>				
<7,5	119	108	11	0,09243697
7.5-8.3	130	107	23	0,17692308
>8.3	139	124	15	0,10791367

**Tab. 6.1.:** Auflistung über die untersuchten Patienten innerhalb der beiden deutschen Meta-Studien [159], [164] und der Prävalenz der betrachteten Kriterien, die die Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen betreffen (MDD: major depressive disorder)

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

Algorithmen soll nun ein Entscheidungsbaum erstellt werden, womit Vorhersagen über das Auftreten einer Depression bei vorhandenem Diabetes mellitus bestimmt werden können. Die theoretischen Grundlagen zur Generierung eines Entscheidungsbaumes sind in Kapitel 4.2 erörtert worden.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, ist die vorhandene Datenbasis Grundlage für die Erstellung des Entscheidungsbaumes. Dafür werden die Daten der Studie [164] verwendet. Um eine einheitliche Datenbasis sicherzustellen, werden die Daten aus der Studie [159] nicht verwendet. In der Studie [164] werden viele verschiedene Charakteristika aufgezählt, die die Komorbidität von Diabetes und depressiver Symptome beeinflussen. Dazu zählen Geschlecht, Alter, Familienstatus, Dauer der Erkrankung und HBA1c Level. Da aus dieser Veröffentlichung kein genauer Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Charakteristika und den einzelnen Patienten hergestellt werden kann, wurde ein gaußscher Algorithmus verwendet, um eine statistisch unabhängige und zufällige Verteilung zu gewährleisten. Diese Berechnungen wurden mithilfe von Matlab umgesetzt. Der dazu notwendige Code befindet sich im Anhang .

In Kapitel 5.3.6 wird bereits erwähnt, dass zur Auswertung der vorliegenden Daten neben der Software RapidMiner auch die Software Weka zur Verfügung steht. Im Folgenden wird damit der Entscheidungsbaum erstellt. Zunächst wird die mit Matlab erstellte Tabelle in eine ARFF-Datei umgewandelt, um die weiteren Prozessschritte in Weka zu ermöglichen. Mit Weka ist es möglich, die Kombination verschiedener Charakteristika bzw. unterschiedlicher Eingangsparameter und deren Effekte auf den zu betrachtenden Gegenstand zu untersuchen. Beispielsweise kann hier die Wahrscheinlichkeit, an depressiven Symptomen und Diabetes zu erkranken, bei Eingabe des Bildungsstatus und des Geschlechts angeführt werden. Allgemein verfügt Weka über verschiedene Klassifikation- und Vorhersage-Algorithmen. Im vorliegenden Fall wird ein sogenannter Random Tree für die Klassifikation verwendet.

Als Eingangsfaktoren werden Geschlecht, Alter, Familienstand, Dauer der Erkrankung, HBA1c-Wert sowie der Hyperglykämie angegeben. Das Geschlecht wird in männlich und weiblich unterteilt. Für das Alter stehen die Kategorien jung (18-48 Jahre alt), alt (49-62 Jahre alt) und sehr alt (>62 Jahre alt) zur Verfügung. Der Familienstatus wird unterteilt in alleinstehend und in Beziehung lebend, die Dauer der Erkrankung in kurz (<6 Jahre), lang, (7-16 Jahre) und sehr lang (>16 Jahre). Für den HBA1c-Wert sind drei Kategorien vorhanden: gering (<7,5%), mittel (7,5% - 8,3%) und hoch (>8,3%). Schließlich wird die Hyperglykämie in vorhanden und nicht vorhanden unterteilt.

Das Ziel ist nun abzuschätzen, wie viele der Patienten, die Diabetiker sind auch an depressiven Symptomen erkrankt sind. Als Bewertungsansatz zur Klassifizierung der Eingangsdaten wird ein Random Tree mit einer zehnfachen Kreuzvalidierung verwendet. Das entsprechende Ergebnis ist in Abbildung 6.8 zu sehen.

Die Gesamtzahl betrachteter Instanzen liegt bei 387. Die Anzahl richtig klassifizierter Instanzen erreicht 326 (84,24%) und die falsch klassifizierter Instanzen 61 (15,76%). Der hohe Prozentsatz korrekt klassifizierter Fälle belegt eine hohe Genauigkeit des erstellten Modells im Hinblick auf die Erkennung der Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen. Die

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

```

Correctly Classified Instances      326          84.2377 %
Incorrectly Classified Instances    61          15.7623 %
Kappa statistic                    0.2681
Mean absolute error                0.1905
Root mean squared error            0.3693
Relative absolute error            87.0294 %
Root relative squared error        112.0369 %
Total Number of Instances          387

=== Detailed Accuracy By Class ===

Class      TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  ROC Area
TRUE      0.354   0.088   0.362     0.354   0.358     0.605
FALSE     0.912   0.646   0.909     0.912   0.91      0.605
Weighted Avg. 0.842   0.577   0.841     0.842   0.842     0.605

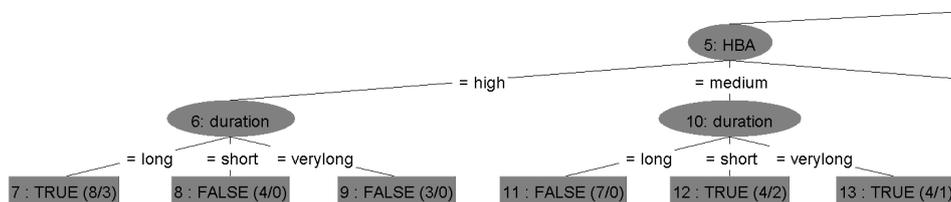
=== Confusion Matrix ===
  a  b  <-- classified as
17 31 |  a = TRUE
30 309|  b = FALSE

```

**Abb. 6.8.:** Weka-Ergebnis nach 10-fach Kreuzvalidierung zur Erstellung eines Random Tree für die Vorhersage einer Komorbidität von Diabetes und depressiver Symptome bei Patienten mit Diabetes Typ 2

Konfusionsmatrix stellt eine zusätzliche Ansicht bezüglich der Verteilung richtig und falsch klassifizierter Instanzen bereit. Die Kategorie a repräsentiert das Vorliegen einer Komorbidität von Diabetes und Depression, wohingegen Kategorie b den Fall einer Erkrankung an Diabetes ohne Depression wieder spiegelt. In Kategorie b werden 309 Instanzen richtig und 30 Instanzen falsch identifiziert. In Kategorie a hingegen werden 17 Instanzen richtig und 31 Instanzen falsch identifiziert.

Die Abbildung 6.9 zeigt einen Ausschnitt des erstellten Entscheidungsbaumes. Betrachtet man beispielsweise das Blatt Nummer sieben (links unten), so werden acht Instanzen richtigerweise und drei Instanzen fälschlicherweise als Vorliegen einer Komorbidität von Depression und Diabetes identifiziert. In diesem Fall werden Patienten mit den Attributen alt, in Beziehung lebend, keine Hyperglykämie, weiblich, HBA1c Wert hoch und lange Dauer der Erkrankung angesprochen. Das Ergebnis aller anderen Blätter erfolgt auf selbige Art und Weise.



**Abb. 6.9.:** Ausschnitt des mit Weka erstellten Entscheidungsbaums für die Vorhersage einer Komorbidität von Diabetes und depressiver Symptome bei Patienten mit Diabetes Typ 2

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES®

Dieses Beispiel unterstreicht die Möglichkeiten, denen Entscheidungsbäume in Anwendungen des Gesundheitswesens inne wohnt. Auch wenn keine selbst erhobenen Patientendaten vorliegen und auf Daten aus der Literatur zurückgegriffen werden musste, können etwa 85% aller Instanzen richtig identifiziert werden. Dies bedeutet, dass es mithilfe des Entscheidungsbaumes möglich ist, mit einer hohen Trefferquote vorherzusagen, ob bei einem Diabetiker eine Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen vorliegt oder nicht. Eine Verbesserung der Ergebnisse kann durch zusätzliche Daten gewonnen werden. Für einen solchen Fall eignet sich das telemedizinische Assistenzsystem COMES® hervorragend.

### 6.2.2. Feldtest zur Steigerung der Bewegungsaktivität mit COMES®

Zum Nachweis der Fähigkeit, COMES® zur Therapiebegleitung und Motivation zu verwenden, wurden vier Feldtests durchgeführt. Allen Feldtests war als gemeinsames Ziel, die tägliche körperliche Bewegung zu steigern. Dazu wurden jeweils zehn Testpersonen mit einem COMES® Smartphone und einem COMES® Schrittzähler ausgestattet. Bei manchen Feldtests wurde zusätzlich Blutdruck und Gewicht erhoben. Als Nebenziel galt es, die vorhandene Hard- und Software auf ihre Stabilität hin zu überprüfen. Das Ergebnis dazu ist bereits in Kapitel 6.1.1 aufgeführt.

Die Testpersonen wurden dazu angehalten, den Schrittzähler täglich bei sich zu tragen und abends vor dem zu Bett gehen die Werte an das COMES®-Center zu übertragen. Falls vorhanden, sollten sie zweimal täglich ihren Blutdruck und ihr Gewicht messen.

Vor Testbeginn füllten die Testteilnehmer einen Fragebogen aus. Darin sollten sie Daten wie Alter und Gewicht, sowie gewisse Präferenzen angeben. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass die Motivationsnachrichten dem jeweiligen Gusto entsprechen.

In der ersten Woche bekamen die Testpersonen lediglich den Schrittzähler, dessen Display abgeklebt wurde. Dadurch wurde das normale Bewegungsverhalten der Testpersonen erhoben. Das Abkleben des Displays diente zur Vermeidung von Seiteneffekten, wie etwa Beeinflussung des gewohnten Verhaltens. In der folgenden Woche bzw. zwei Wochen erhielten die Testpersonen über die COMES®-Web-Applikation Motivationsnachrichten, die sie zu mehr körperlicher Aktivität anregen sollten.

Ob COMES® Patienten bei ihrer Therapie unterstützen bzw. im dargestellten Fall zu mehr Bewegung motivieren kann, soll die Auswertung dieses Feldtests mit einem statistischen Verfahren, wie es in Kapitel 4.4 dargestellt ist, zeigen. Aufgrund der geringen Zahl an Testteilnehmern findet der U-Test von Mann und Whitney Verwendung. Mit Hilfe dieses Rangsummentests werden die Mediane ohne und mit COMES®-Intervention verglichen. Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

### **Nullhypothese**

„Die beiden Stichproben entstammen der selben Grundgesamtheit.“ bzw. „Die durchschnittliche Bewegung pro Tag bleibt trotz COMES<sup>®</sup>-Motivation gleich.“

### **Alternativhypothese**

„Die durchschnittliche Bewegung pro Tag verändert sich nach der COMES<sup>®</sup>-Motivation.“

Die in Kapitel 4.4 geforderten Voraussetzungen nach der gleichen Verteilungsform sind erfüllt.

Zur Auswertung der erhobenen Daten dient die frei verfügbare Programmiersprache R zur statistischen Datenanalyse. Zusätzlich wird ein Java-Programm geschrieben, mit dem lediglich die Auswahl der csv Dateien notwendig ist, um daraus die statistische Auswertung zu erhalten.

Im folgenden wird jeweils kurz auf die Besonderheiten der einzelnen Feldtests eingegangen und deren Auswertung bzw. Signifikanz dargestellt.

### **Feldtest Bewegung mit Personen mittleren Alters**

Im *Feldtest Bewegung mit Personen mittleren Alters* haben zehn Personen im Alter zwischen 40 und 67 Jahren teilgenommen. Bei der Auswahl der Teilnehmer werden Vorerkrankungen nicht berücksichtigt. Die Teilnehmer wohnen entweder in einer Großstadt, einer Kleinstadt oder auf dem Land. In diesem Test wird neben Schritten auch noch bei sieben Testpersonen Blutdruck und Gewicht gemessen. In die Auswertung fließen diese Ergebnisse aufgrund mangelnder Repräsentativität nicht ein.

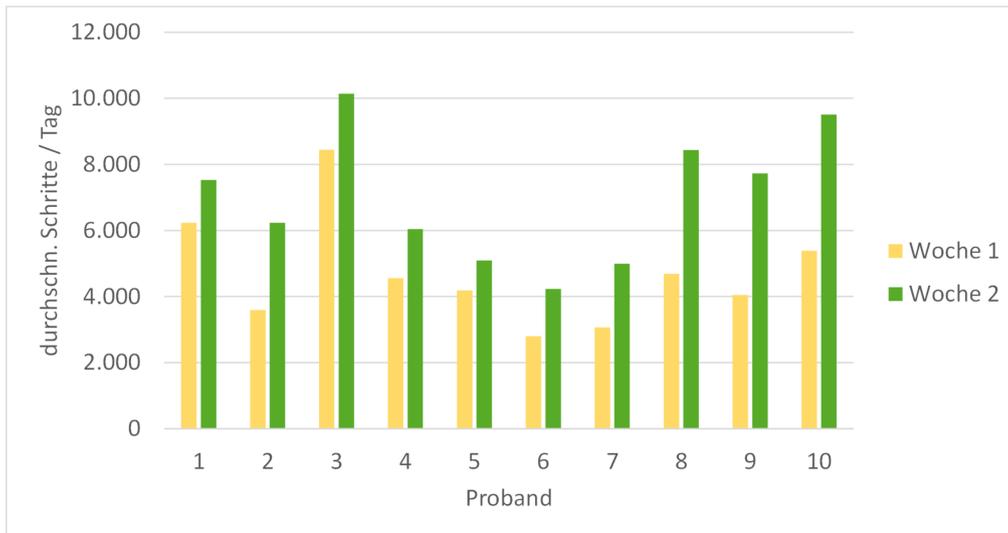
Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Probanden ihre Schritte täglich übertragen haben. Nur ein Teilnehmer hat sich an einem Tag nicht bewegt, da er krank im Bett lag. Weiterhin haben alle Teilnehmer ihre Motivationsnachrichten bis 9 Uhr morgens gelesen.

Wie in Abbildung 6.10 zu sehen ist, absolvierten die Testteilnehmer während der ersten Woche durchschnittlich 4.702 Schritte pro Tag mit einer Standardabweichung von 1.669 Schritten pro Tag. In der dritten Woche mit COMES<sup>®</sup>-Motivationsnachrichten erhöhte sich die durchschnittliche Schrittzahl der Probanden um 2.292 auf 6.994 Schritte mit einer Standardabweichung von 1.996 Schritten pro Tag. Damit kann eine signifikante Steigerung der Aktivität mit einem p-Wert von  $p = 0,014$  nachgewiesen werden.

### **Feldtest Bewegung mit Übergewichtigen**

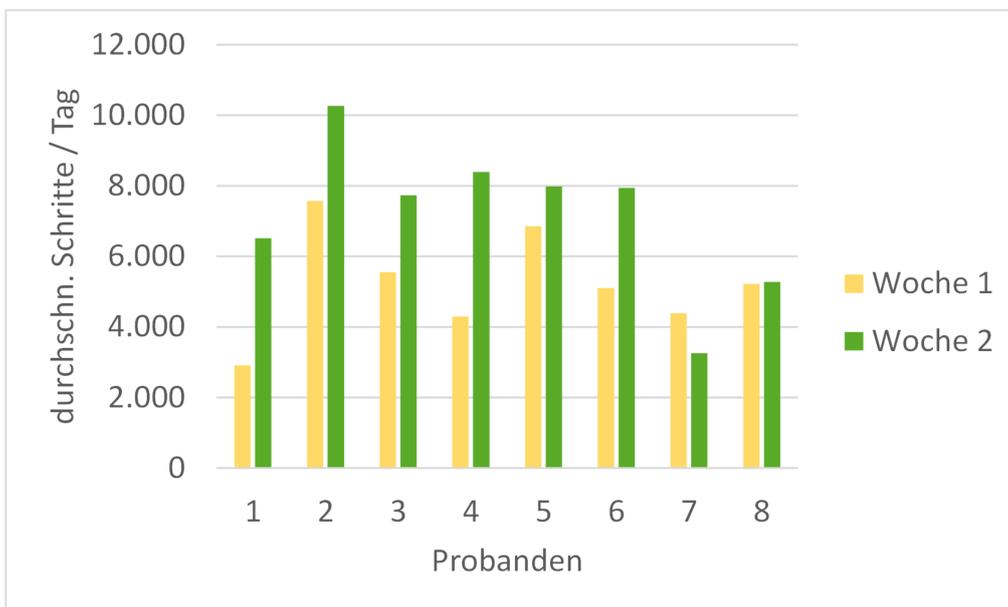
Der *Feldtest Bewegung mit Übergewichtigen* wurde mit neun männlichen und einer weiblichen Person begonnen, zwei davon mussten aber krankheitsbedingt währenddessen die Teilnahme an dem Versuch beenden. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer war mit 33,3 Jahren und einer Spanne von 18 bis 57 Jahren relativ jung. Der durchschnittliche BMI (Body Mass Index) lag bei  $31,4 \text{ kg/m}^2$ , das durchschnittliche Gewicht bei 103,9 kg. Die Testpersonen wohnten überwiegend in einer Großstadt.

## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>



**Abb. 6.10.:** Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 3 im Feldtest Bewegung mit Personen mittleren Alters

Abbildung 6.11 stellt die gegangenen Schritte der ersten und zweiten Woche gegenüber. Es ist festzuhalten, dass die Teilnehmer innerhalb der ersten Woche durchschnittlich 5.237 Schritte pro Tag mit einer Standardabweichung von 1.472 Schritten pro Tag gingen. In der darauffolgenden Woche mit COMES<sup>®</sup>-Motivationsnachrichten erhöhte sich die durchschnittli-



**Abb. 6.11.:** Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Übergewichtigen

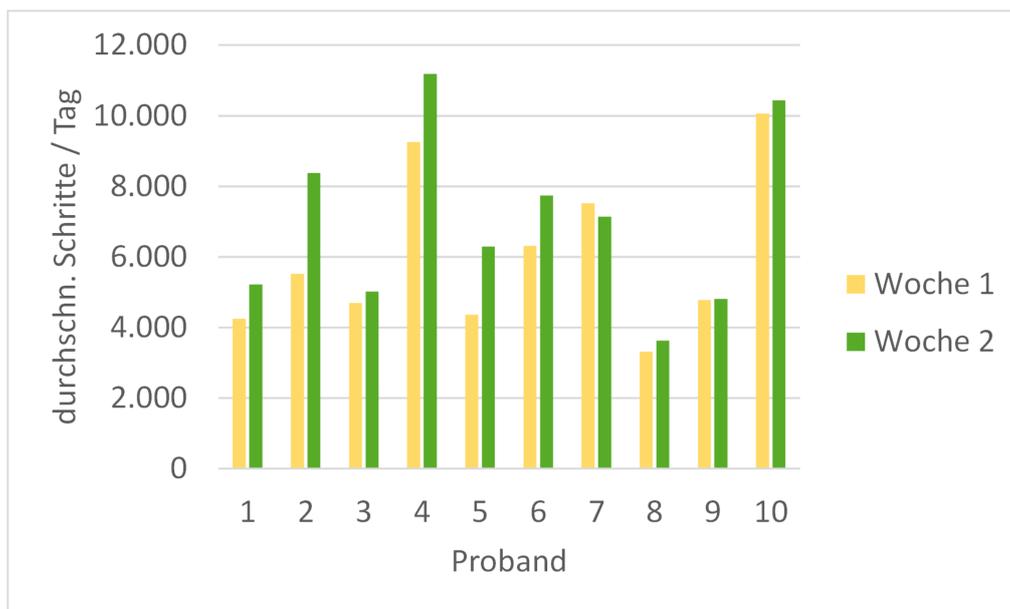
## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

che Schrittzahl der Probanden um 1.931 auf 7.168 Schritte pro Tag mit einer relativ hohen Standardabweichung von 2.135 Schritten pro Tag. Es kann auch hier, trotz der geringen Teilnehmerzahl von acht Probanden, eine signifikante Steigerung der Bewegung der Teilnehmer mithilfe der COMES<sup>®</sup>-Motivationsnachrichten mit einem  $p$ -wert von  $p = 0,038$  festgestellt werden.

### Feldtest Bewegung mit Hypertoniker

In diesem Feldtest haben fünf männliche und fünf weibliche Testpersonen, die Hypertoniker waren, teilgenommen. Ihr Alter lag zwischen 18 und 66 Jahren, mit einem durchschnittlichen Alter von knapp 40 Jahren. Nahezu alle Beteiligten waren Übergewichtig; im Durchschnitt wogen sie 98 kg und hatten durchschnittlich einen BMI von  $32,2 \text{ kg/m}^2$ . Die Teilnehmer wohnten entweder in einer Großstadt oder am Land.

Während des Versuchs haben nahezu alle Versuchspersonen den Schrittzähler täglich mit sich geführt und die Daten übertragen. Zwei Probanden weisen jedoch Lücken von zwei Tagen auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sie beim morgendlichen Kleidungswechsel den Schrittzähler zu Hause vergessen haben.



**Abb. 6.12.:** Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Hypertoniker

Abbildung 6.12 zeigt, dass die Teilnehmer innerhalb der ersten Woche durchschnittlich 6.005 Schritte pro Tag mit einer relativ hohen Standardabweichung von 2.142 Schritten pro Tag gingen. In der darauffolgenden Woche mit COMES<sup>®</sup>-Motivationsnachrichten erhöhte sich die durchschnittliche Schrittzahl der Probanden um 979 auf 6.984 Schritte pro Tag mit einer noch höheren Standardabweichung von 2.359 Schritten pro Tag. In diesem Versuch kann

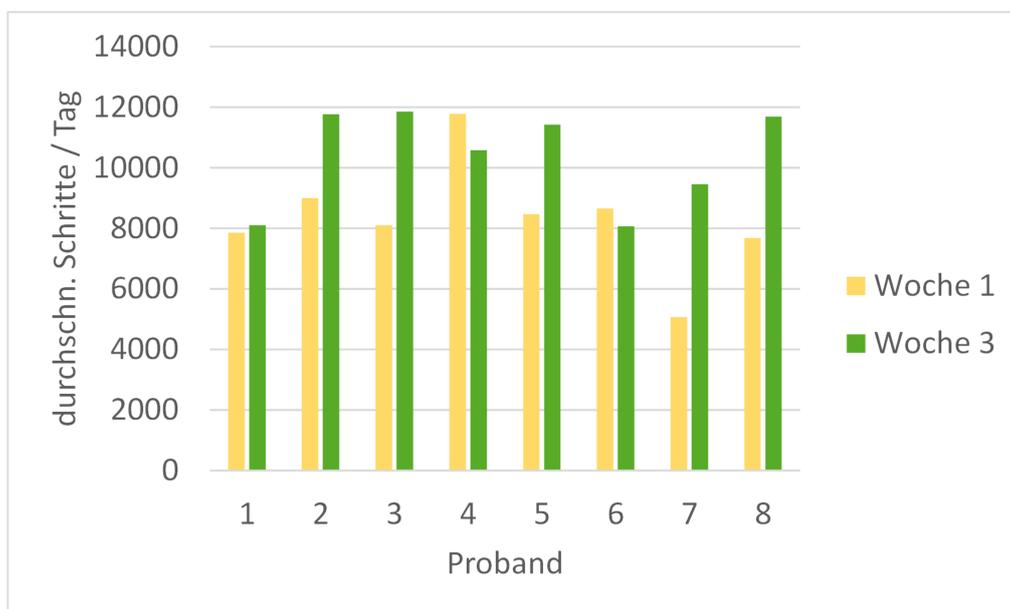
## 6. Erprobung und Untersuchung von COMES<sup>®</sup>

mit einem p-Wert von  $p = 0,280$  von keiner signifikanten Verbesserung gesprochen werden, obschon bis auf eine Testperson alle Beteiligten einen positive Schrittentwicklung aufweisen.

### Feldtest Bewegung mit Studenten

In *Feldtest Bewegung mit Studenten* haben zehn Studenten der TU München, davon zwei weiblich und acht männlich, als Testpersonen teilgenommen. Sie waren zwischen 19 und 29 Jahre alt, wobei das Durchschnittsalter bei 23 Jahre lag. Bis auf zwei Testteilnehmer, von denen einer leicht untergewichtig und ein anderer leicht übergewichtig war, hatten alle mit einem durchschnittlichen BMI von  $22,4 \text{ kg/m}^2$  ein normales Gewicht. Die Teilnehmer wohnten alle in einer Großstadt. Da eine Testperson während des Versuchs seinen Schrittzähler verlor und ein zweiter Proband aus persönlichen Gründen die Teilnahme abbrach, reduzierte sich die auszuwertende Teilnehmerzahl während des Versuchs auf acht Probanden.

Innerhalb der Versuchszeit haben alle Versuchspersonen den Schrittzähler täglich mit sich geführt und die Daten übertragen.



**Abb. 6.13.:** Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Studenten

Wie in Abbildung 6.13 zu sehen ist, absolvierten die Testteilnehmer während der ersten Woche durchschnittlich 7.726 Schritte pro Tag mit einer Standardabweichung von 1.066 Schritten pro Tag. In der dritten Woche mit COMES<sup>®</sup>-Motivationsnachrichten erhöhte sich die durchschnittliche Schrittzahl der Probanden um 2.641 auf 10.367 Schritte mit einer Standardabweichung von 1.618 Schritten pro Tag. Damit kann einen signifikante Steigerung der Aktivität mit einem p-Wert von  $p = 0,006$  nachgewiesen werden.

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES<sup>®</sup>

In den vorangehenden Kapitel wird anschaulich herausgearbeitet, welches Potential das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> birgt. Neben einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten stiftet es sowohl für den Arzt als auch den Patienten einen echten Nutzen. Nichtsdestotrotz haben die Ergebnisse aber auch gezeigt, dass es noch Grenzen technischer Natur oder bezüglich der Einsatzgebiete gibt.

Im Folgenden werden nun die Möglichkeiten und Grenzen des telemedizinischen Assistenzsystems COMES<sup>®</sup> hinsichtlich der Technik, aber auch aus rechtlicher, ökonomischer und ethischer Sicht betrachtet.

### 7.1. Potential und Grenzen von COMES<sup>®</sup>

Das in dieser Arbeit vorgestellte telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> bietet ein breites Spektrum an Möglichkeiten. Davon profitiert nicht nur der Patient, der in seiner Therapie begleitet wird und lernt, sich mit seiner Erkrankung auseinanderzusetzen, sondern vor allem auch der Arzt und Therapeut, dem mit COMES<sup>®</sup> ein sehr gutes Hilfsmittel für Diagnose und Therapie an die Hand gegeben wird.

Die Nutzung von COMES<sup>®</sup> trägt dazu bei, dass sich der Patient emanzipieren kann; er löst sich von der sehr oft einseitigen ärztlichen Aufklärung über seine Erkrankung und möglichen Therapiemaßnahme sowie deren Risiken, erhält zusätzliche Informationen und macht sich dadurch mit COMES<sup>®</sup> unabhängiger. Dass dieser Trend nach Emanzipation des Patienten in den letzten Jahren stetig steigt, belegt der Anteil der Deutschen, die das Internet im Jahre 2013 zur Beschaffung gesundheitsrelevanter Themen nutzen: demnach informieren sich rund 60% der Internetnutzer über Gesundheitsthemen; vier Jahre zuvor lag die Quote bei nur etwa 34% [172]. Durch diese Emanzipation wird das sehr wichtige Arzt-Patienten-Verhältnis in keiner Weise gestört, sondern vielmehr befruchtet und gestärkt. Der Arzt kann weg vom Monolog und hin zum Dialog mit seinem Patienten gehen. Damit wird es dem Arzt erleichtert, sich ein aussagekräftiges Bild der Erkrankung des Patienten zu machen; denn der emanzipierte Patient ist besser in der Lage, seine Beschwerden zu spezifizieren und zu beschreiben.

Auch und besonders in COMES<sup>®</sup> steht der Dialog zwischen Arzt und Patient im Mittelpunkt. Dies spiegelt das Feedback-Management-System wieder, das neben dem Interventions-

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Management-System zum zentralen Baustein des COMES®-Systems zählt (vgl. Abbildung 5.2). Über Nachrichten und Fragebögen werden die Befindlichkeiten des Patienten erfasst und Arzt und Patient informiert bzw. motiviert.

Neben der Stärkung des Dialogs zwischen Arzt und Patient wird mit COMES® zudem eine Steigerung der Qualität der Behandlung für alle Akteure erreicht. In der Einleitung wird bereits auf die Qualitätsproblematik im deutschen Gesundheitswesen hingewiesen: Qualitätsunterschiede in der Behandlung, mangelnder Informationsaustausch zwischen den Ärzten, Koordinationsprobleme zwischen den Behandlungen u.v.m. Mit der COMES®-Plattform ist eine intensive Vernetzung von Beteiligten der Primärversorgung mit Pflegediensten, sozialen Diensten und anderen Dienstleistern möglich. Das Vorhalten und Zusammenführen aller vorhandener Patienteninformationen, wie Messwerte, Bilder und sozioökonomische Daten, ist bereits jetzt schon in weiten Zügen integriert. Zudem bietet COMES® die Möglichkeit, anonymisiert Behandlungsergebnisse zu messen, wodurch mehr Wettbewerb und eine bessere Versorgung des Patienten erreicht werden soll. Schließlich wird der Patient wesentlich mehr und aktiver in den Genesungsprozess eingebunden.

Damit dieser Anspruch an Qualitätsverbesserung gewährleistet werden kann, zählte es von Beginn an zu den Hauptaufgaben, das COMES®-System stabil, benutzerfreundlich und intuitiv bedienbar zu gestalten. Neben der geforderten Funktionalität sind diese drei Säulen die Grundvoraussetzung, dass telemedizinische Assistenzsysteme beim Anwender und somit im Markt Fuß fassen können.

Die geforderte Stabilität betrifft viele Bereiche: einerseits soll die Datenübertragung vom medizinischen Messgerät über das mobile Endgerät bis hin zum COMES®-Center stabil und ohne Datenverluste erfolgen; andererseits ist die ständige Verfügbarkeit der Daten eine nicht minder wichtige und nahezu schon übliche Forderung. Durch die Einbindung des Industriepartners Synergy Systems GmbH als Betreiber eines professionellen Rechenzentrums in Deutschland ist für COMES® eine Verfügbarkeit der Klasse Tier IV gegeben, was einer Verfügbarkeit von 99,995% entspricht. Wie die Ergebnisse aus Kapitel 6.1.1 eindrucksvoll belegen, ist zudem eine sehr gute Stabilität hinsichtlich der Funkkommunikation mit dem mobilen Endgerät mit Android-Betriebssystem und der Datenübertragung an das COMES®-Center gegeben, gleichwohl dies, wie später ausgeführt wird, an gewisse Bedingungen geknüpft ist. Ob eine derart hohe Stabilität der Datenübertragung auch zwischen medizinischem Messgerät und dem mobilen Endgerät vorliegt, deuten zwar erste Untersuchungen an, jedoch kann dies nur auf Basis vieler Messungen in den kommenden Jahren beurteilt werden. Es bleibt jedoch anzumerken, dass eine ausnahmsweise, nicht sofortige Datenübertragung bei einem telemedizinischen Assistenzsystem, wie es in dieser Arbeit dargestellt ist, zu keiner lebensbedrohlichen Situation führt. Demnach ist die Forderung nach einer hohen Stabilität mehr dem Bedienkomfort zuzuschreiben, denn einer systemrelevanten Bedingung. Nichtsdestotrotz beweist COMES® eine hervorragende Stabilität hinsichtlich Datenübertragung und Verfügbarkeit.

In zahlreichen Versuchsreihen konnten neben der Stabilität auch Nutzerbefragungen immer wieder den hohen Bedienkomfort, die Nutzerfreundlichkeit und die intuitive Bedienbarkeit

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES<sup>®</sup>

von COMES<sup>®</sup> herausstellen. Dies ist nicht nur der sogenannten „One-Touch-Philosophie“ geschuldet. Demnach braucht der Anwender lediglich eine Messung mit dem medizinischen Messgerät durchführen; die darauf folgende Datenübertragung geschieht vollautomatisch. Auch der einfache Aufbau und die Reduzierung auf die wichtigsten Informationen für die Web-Applikation für mobile Endgeräte auf Android-Basis haben bei Anwendern großen Anklang gefunden. Für diejenigen, die mehr Gestaltungsfreiheit wünschen, erweist sich das COMES<sup>®</sup>-Webfrontend als einfach zu bedienende Benutzeroberfläche, bei der Anwender das gewünschte Ziel schnell und sicher erreichen.

Das Besondere an COMES<sup>®</sup> ist, dass es nicht nur als Plattform konzipiert ist, die stupide Messdaten sammelt und diese grafisch und tabellarisch wiedergibt. Vielmehr wurde darauf geachtet, dass das System unter anderem automatisiert nach ärztlicher Vorgabe und gemäß des Verhaltens des Nutzers reagiert. Dies ist eindrucksvoll an der Möglichkeit der Therapiebegleitung zu belegen. Der Arzt gibt ein Therapieziel, also einen Sollwert, vor und das System reagiert entsprechend des Ist-Wertes des Patienten. Diese Reaktion mündet in leichten Korrekturen des Therapieziels auf Basis wissenschaftlicher Studien und unter Berücksichtigung ärztlicher Vorgaben sowie der Motivation des Patienten. Dadurch wird der Patient nicht überfordert, bleibt dauerhaft motiviert und führt seine Therapie gewissenhaft durch. Außerdem erfährt er positive und negative Entwicklungen besser und lernt im Falle chronischer Erkrankungen mit seiner Erkrankung umzugehen. Schließlich profitiert der Arzt durch eine gute Dokumentation über die Therapie, womit er diese besser auf die Erfordernisse des Patienten abstimmen kann.

Wie bereits angedeutet, ist der persönliche Kontakt mit dem Patienten ein zentrales Anliegen für COMES<sup>®</sup>. Durch die Anbindung eines dialogorientierten telemedizinischen Servicezentrums kann der Patient fortwährend und vollumfänglich betreut und behandelt werden. Somit ist es dem Patienten möglich, auch außerhalb der üblichen Sprechstunden, ärztlichen Rat einzuholen. Durch die in COMES<sup>®</sup> hinterlegte Krankheitsgeschichte und der Darstellung des aktuellen Therapieverlaufs des Patienten kann der Arzt den Patienten schnell und optimal beraten.

Ein wesentlicher Bestandteil von COMES<sup>®</sup> ist die Kognition. Nicht umsonst ist sie beschreibendes Adjektiv für das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> - **CO**gnitives **ME**medizinisches **S**ystem. Das Wort Kognition beschreibt Prozesse, die das Wahrnehmen, Denken und Erkennen betreffen. Besonders in den Kapiteln 5.3.6 und 6.2 werden diese Eigenschaften deutlich erkennbar. Betrachtet man die Therapiebegleitung, so nimmt COMES<sup>®</sup> die Veränderungen des Patienten wahr und passt die Therapieziele entsprechend an. Motivationsnachrichten werden auf Basis modernster Klassifikations-Algorithmen ausgewählt. Es bedarf lediglich einiger Zusatzinformationen des Patienten, um seine Vorlieben erkennen zu können. Somit erhält der Patient die bestmögliche Motivationsnachricht. Dies alles erledigt das System vollautomatisch und verbessert sich mit jedem neuen Patienten. Schließlich wird in dieser Arbeit die Kognition von COMES<sup>®</sup> auch dadurch gezeigt, dass Ärzte mit Hilfe von COMES<sup>®</sup> durch die Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten mittels Data Mining-Algorithmen die Therapie für den Patienten entsprechend ausrichten können. Davon profitieren Patienten, Ärzte und das Gesundheitssystem im Allgemeinen gleichermaßen. Dies

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

erfordert jedoch, dass Ärzte und im Besonderen das deutsche Gesundheitssystem den Präventionsgedanken weiter stärken.

So beeindruckend und positiv die Ergebnisse dieser Arbeit sind, so haben sie auch gezeigt, dass die Verwendung von mobilen Endgeräten mit dem Android-Betriebssystem gewisse Risiken hinsichtlich der Stabilität birgt. Eine Verwendung von Android-Versionen kleiner als 4.2 ist nicht anzuraten. Hier konnten vermehrt Fehler in der Datenkommunikation festgestellt werden. Dies mag darin begründet liegen, dass mit Android 4.2 die Bluetooth-Bibliothek nochmals überarbeitet wurde. Damit eng verbunden sind turnusgemäße System-Updates, die einen reibungslosen Betrieb nicht garantieren. Zügige Tests und eventuelle Updates für die COMES®-Applikation sind die Folge, wodurch der Wartungsaufwand steigt.

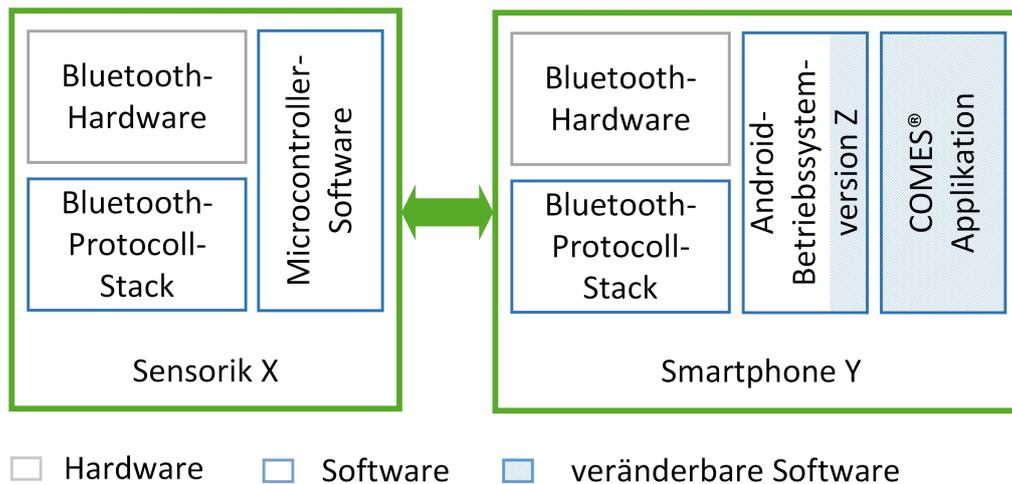
Ein weiteres Problem stellt die Implementierung der Funkschnittstellen, im Besonderen Bluetooth, der verschiedenen Hersteller von mobilen Endgeräten dar. Nicht jeder Hersteller legt die gleiche Sorgfalt bei der Implementierung des Bluetooth-Stacks an den Tag. Dies kann im schlimmsten Fall zu notwendigen Abwandlungen in der COMES®-Applikation führen. Auch Hersteller von medizinischen Messgeräten sind einer genauen Erprobung zu unterziehen, da sie nicht immer das halten, was sie versprechen. So konnten auch hier bei bestimmten Herstellern vermehrt Funk-Kommunikationsprobleme festgestellt werden. Zur Reduzierung dieser Fehler sind im ausreichenden Maße Untersuchungen und Tests notwendig. Diese Arbeit hat auch gezeigt, dass es nicht ausreicht, derartige Tests lediglich unter Laborbedingungen durchzuführen; vielmehr bedarf es zusätzlicher Untersuchungen mit den Zielanwendern.

Die Bluetooth-Datenkommunikation avanciert somit zu einer noch unbefriedigenden Schwachstelle. Die Eingriffsmöglichkeiten sind jedoch begrenzt, wie Abbildung 7.1 verdeutlicht. So werden unterschiedliche medizinische Geräte eingekauft. Diese verwenden auf Software-Ebene ihren eigenen Bluetooth-Protocol-Stack sowie Programmcode, der das Bluetooth-Modul ansteuert. Auf der anderen Seite existieren verschiedene Smartphone-Hersteller mit ihren eigenen Bluetooth-Hardware und Bluetooth-Protocol-Stacks sowie unterschiedlichen Android-Betriebssystemversionen. Auch wenn durch sogenannte reflection-Methoden der Programmcode der Android-Betriebssystemversion zur Laufzeit bis zu einem gewissen Grad verändert werden kann, liegt die einzige Eingriffsmöglichkeit des Anwenders in die Bluetooth-Kommunikation in der sorgfältigen Programmierung des Applikations-Codes. Die Funktionalität des Applikations-Codes konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden (vgl. Kapitel 6.1.1).

Während die Funkschnittstellen nur bedingt beeinträchtigt werden können, ist die browserbasierte COMES® Benutzeroberfläche genau auf die Bedürfnisse der Anwender angepasst worden. Es ist hier jedoch notwendig, bei neuen Versionen von Internet-Browsern die Funktionalität der COMES®-Benutzeroberfläche zu überprüfen. Auch sollten künftige Änderungen und Erweiterungen von Web-Technologien integriert werden. Dies alles bedeutet einen erhöhten Mehraufwand in Wartung und Entwicklung.

Dieser Aufwand ist notwendig, da für eine gute Benutzeroberfläche Design, Funktionalität und Ergonomie maßgebend sind. Nur dadurch werden die Informationen wahrgenommen und

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®



**Abb. 7.1.:** Darstellung von Software und Hardware-Komponenten für die Bluetooth-Datenkommunikation sowie der Einwirkungsmöglichkeiten

COMES® gerne verwendet. Handelt es sich bei den angezeigten Daten um Informationen, die mittels moderner Data Mining-Algorithmen erzeugt wurden, so muss sich der Anwender immer bewusst sein, dass es sich hier, vereinfacht gesagt, um Wahrscheinlichkeitsberechnungen handelt. Es liegt also in der Verantwortung des Anwenders, die Ergebnisse entsprechend zu interpretieren und zu werten. Aber auch die Medizin selbst und deren Therapie-Richtlinien beruhen größtenteils auf Statistik und Wahrscheinlichkeiten.

Eine weitere Grenze von COMES® ist die eingeschränkte Auswahl der Sensorik. Hiermit können, wenn auch schon verhältnismäßig viele, dennoch nur begrenzte Parameter erhoben und selbst gemessen werden. Dies limitiert den Einsatz von COMES® auf bestimmte Erkrankungen, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes.

Eine der größten Hürden ist jedoch der Mensch selbst. Auch wenn, wie es in Kapitel 7.4 beschrieben ist, die Akzeptanz gegenüber der Telemedizin im Allgemeinen bei allen Anwendern zunimmt, ist eine gewisse Verunsicherung gegenüber und mangelnde Glaubwürdigkeit an telemedizinischen Assistenzsystemen gegeben. Die unterschiedlichen Akteure müssen von der Notwendigkeit und der nutzenstiftenden Leistung derartiger Systeme überzeugt werden. Diese Voreingenommenheit ist nicht zwingend auf technische Aspekte zu reduzieren, sondern wird vor allem von rechtlichen Angelegenheiten, wie Datenschutz, und gesellschaftspolitischen Entscheidungen genährt. Es ist daher einer der schwierigsten Aufgaben, den Nutzen dieser Systeme klar zu formulieren und belegen zu können. Dieser Herausforderung muss sich derjenige stellen, der ein telemedizinisches Assistenzsystem, wie COMES®, vermarkten möchte. Auf mögliche Geschäftsmodelle wird in Kapitel 7.4 näher eingegangen.

Denkanstöße zur Vermarktung werden in dieser Arbeit mehrfach beschrieben; es werden Anwendungsgebiete mit COMES® untersucht und Möglichkeiten aufgezeigt. Diese reichen von

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Therapiebegleitung, -prognose, -evaluierung und -auswahl über Steuerung von technischen Systemen und Sensorik bis hin zur Unterstützung in der Diagnostik. Dabei kann COMES® sowohl in der hausärztlichen Versorgung, als auch in Rehabilitations- und anderen therapeutischen Kliniken eingesetzt werden. Auch wenn das schon ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten repräsentiert, sind noch viele weitere denkbar. So ist eine Verknüpfung von COMES® mit einer Haussteuerung vor allem für ältere und leicht pflegebedürftige Menschen durchaus sinnvoll. Seit wenigen Jahren wird an Technologien und Organisationslösungen geforscht, „mit denen Menschen ihre Selbständigkeit im eigenen Heim auch bei körperlichen oder kognitiven Einschränkungen so weit wie möglich bewahren können“ [173]. So hat beispielsweise das FZI Forschungszentrum Informatik diesen Bedarf erkannt und eine Diskussions- und Erprobungsplattform namens FZI Living Lab AAL ins Leben gerufen. Prototypen und Dienste sollen unter realistischen Anwendungsbedingungen mit Anwendern diskutiert, entwickelt und getestet werden [173]. Ebenso sei hier auf das AAL-Anwendungszentrum an der Hochschule Kempten namens CoKeTT (COMES® Kempten Test- und Trainingszentrum) verwiesen, das ein Gemeinschaftsprojekt mit dem Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der Technischen Universität München ist. Auch der Einsatz in Alten- und Pflegeheimen ist durchaus sinnvoll. Mit kleinen Erweiterungen können Pflegeleitung, Pfleger und noch agile zu Pflegende von COMES® profitieren. Durch Automatisierung der Dokumentationsarbeit, durch stärkere Integration der Bewohner, die ermuntert werden, für ihre Gesundheit und gegen den körperlichen und geistigen Verfall zu arbeiten, und durch den damit verbundenen Zeit- und Pflegegewinn kann ein Mehrwert auf allen Ebenen erreicht werden.

So umfangreich die Einsatzbereiche von COMES® sein mögen, so gibt es dennoch Bereiche, für die es nicht konzipiert ist. Dazu zählt beispielsweise die Notfallmedizin. COMES® kann in der jetzigen Form nicht dazu eingesetzt werden, lebensbedrohliche Notfälle zu erkennen bzw. einen Notruf abzusetzen. Derartige Systeme bedürfen einer kontinuierlichen Überprüfung der Vitalparameter sowie einer nahezu 100%igen Verfügbarkeit. Dafür eignet sich das Mobilfunknetz, das Grundlage der Datenflüsse vom Patienten zu COMES® ist, im derzeitigen Ausbaustatus nicht, da vor allem im ländlichen Raum noch erhebliche Netzabdeckungslücken bestehen. Auch der Einsatz in einem „normalen“ Krankenhaus ist nicht zwingend gewinnbringend. Im Krankenhaus ist der Bedarf anders als beispielsweise in einer Rehabilitationsklinik. Des Weiteren bestehen bei sehr alten Menschen erhebliche Einschränkungen. Die Sinnesempfindungen, wie Sehen, Hören oder Fühlen, werden mit zunehmenden Alter schwächer. Zudem nimmt oftmals das Interesse an modernen, technologischen Geräten und Systemen ab. Dies führt dazu, dass diese Menschen ein telemedizinisches Assistenzsystem nur schwer oder gar nicht mehr bedienen können und wollen. Schließlich ist der Einsatz telemedizinischer Assistenzsysteme nicht für alle Krankheiten möglich und sinnvoll. Wie bereits beschrieben, liegt dies größtenteils in der zur Verfügung stehenden Sensorik und die damit verbundenen Messparameter begründet. Auch in naher Zukunft werden nicht alle wichtigen Parameter selbst vom Patienten gemessen werden können.

Neben all diesen positiven Aspekten stellt sich bei der Gesamtbetrachtung des telemedizinischen Assistenzsystems COMES® die Frage, ob nicht Alternativen für die verwendeten Einzelkomponenten besser gewesen wären. So kann man statt einer mobilen Lösung mit

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Smartphones auch eine stationäre Lösung in Betracht ziehen. Diese hat den Vorteil, dass die Funkkommunikation in „eigener Hand“ liegt, was zu einer Erhöhung der Systemstabilität beitragen kann. Jedoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass unter bestimmten Voraussetzungen die nötige Systemstabilität auch für die mobile Lösung mit Smartphones gegeben ist. Zudem bieten Smartphones den Vorteil, dass viele potentielle Anwender diese schon besitzen und daher im Umgang geübt sind und für den Anwender keine zusätzlichen Kosten anfallen. Schließlich ist die Mobilität das größte Argument für die Nutzung von Smartphones gegenüber einer stationären Lösung.

Für die mobile Lösung wird das Betriebssystem Android verwendet. Betrachtet man die Android-Applikation, so stand die Wahl zwischen einer kompletten nativen Applikation und einer hybriden Applikation, bestehend aus einer nativen und einer sogenannten Web-Applikation. Der Vorteil der rein nativen Applikation besteht darin, dass zum Betrachten der Daten nicht immer eine Internetverbindung bestehen muss. Die Daten werden bei bestehender Internetverbindung heruntergeladen und lokal auf dem Smartphone gespeichert. Das birgt aber andererseits das Risiko, dass bei Verlust des Smartphones Fremde Zugriff auf die sensiblen medizinischen Daten erhalten. Die Hybridversion hingegen hat den Vorteil, dass Updates und Verbesserungen an der grafischen Benutzeroberfläche schnell eingepflegt werden können, unberechtigte Zugriffe leichter überwacht werden können und das Betrachten der Daten sowie Erhalten von Informationen und Motivationen über jeden Browser erfolgen kann.

Schließlich könnten an dieser Stelle noch die verwendeten Programmiersprachen, Übertragungsprotokolle u.v.m. diskutiert werden. Jedoch würde hier eine Anpassung keine spürbare Veränderung für den Anwender bringen. Deshalb werden sie nicht weiter betrachtet.



**Abb. 7.2.:** Umsetzung des im Projekt KOMPASS entworfenen telemedizinischen Endgerätes [21]

Vielmehr gilt es, ein Augenmerk auf die verwendete Sensorik zu werfen. Ein großer Plus-

punkt für COMES<sup>®</sup> ist es, dass viele unterschiedliche medizinische Messgeräte an das System bereits angebunden sind und die Integration weiterer leicht erfolgen kann. Jedoch möchte kein Patient mehr als ein bis zwei medizinische Messgeräte täglich verwenden (müssen). Denn zum einen wird die Mobilität erheblich eingeschränkt, weil in der Regel das Mitführen eines Messkoffers bzw. mehrerer Messgeräte dadurch notwendig ist. Zum anderen sind solche Geräte häufig kompliziert zu bedienen, sodass speziell bei älteren Personen Schwierigkeiten bei der Handhabung auftreten. Daher ist es wünschenswert, ein medizinisches Messgerät zu haben, das die unterschiedlichen Messsysteme vereint. Im Projekt KOMPASS wurde dazu ein neu entwickeltes telemedizinisches Endgerät entworfen und umgesetzt. Neben Blutdruck und Puls können die Sauerstoffsättigung des Blutes, die Hautleitfähigkeit zur Messung der physiologischen Erregung des Patienten oder dessen Aktivität, der Blutzucker und als extern eingekoppelte Sensorik das Gewicht gemessen und bestimmt werden. Abbildung 7.2 zeigt die Umsetzung des im Projekt KOMPASS entworfenen telemedizinischen Endgerätes. Somit ist es durch die verwendete Sensorik möglich, mit einer Messung ein Cluster von Parametern zu erfassen. Mittels einer einfach und intuitiv bedienbarer Software kann individuell auf die Bedürfnisse des Patienten eingegangen und eine für ihn geeignete Ansicht angeboten werden. So eignet sich das Endgerät zur Anwendung für unterschiedliche Krankheitsbilder wie z.B. das metabolische Syndrom.

## 7.2. Bewertung von COMES<sup>®</sup>

Mit COMES<sup>®</sup> ist ein sehr umfangreiches und zugleich intuitiv bedienbares telemedizinisches Assistenzsystem geschaffen worden. Es integriert gute Ansätze anderer Systeme, realisiert neue Ideen und ermöglicht dadurch viele Anwendungsmöglichkeiten. Im Folgenden soll der aktuelle Stand der Entwicklung von COMES<sup>®</sup> einerseits auf technischer Ebene und andererseits mit objektiven Bewertungsinstrumenten, sogenannten Assessment Tools, diskutiert werden.

### 7.2.1. Technische Bewertung

Zunächst wird erläutert, was ein telemedizinisches Assistenzsystem auszeichnet und welche Faktoren für den Erfolg entscheidend sind. Dabei beschränkt sich diese Betrachtung auf rein technische Aspekte.

Um möglichst viele Anwendungsgebiete abdecken zu können, ist ein breites Spektrum an Sensorik erforderlich. Eng damit verbunden ist das Streben nach einer hohen Mobilität. Anwender sollen von jedem Ort aus das System nutzen können. Ein weiteres und mitunter das wichtigste Kriterium ist die Forderung nach einer einfachen und intuitiven Handhabung für alle Beteiligten, also sowohl für Arzt als auch Patient, Angehöriger oder Pflegepersonal. Dies gilt besonders für medizinische Systeme, da der Großteil der Anwender nicht technik-affin ist. Ferner ist es notwendig, die Anzahl vorhandener sowie die Integration neuer Daten-Analyse-Algorithmen zu prüfen. Analyse-Algorithmen sind ein wichtiger Bestandteil moderner telemedizinischer Assistenzsysteme; denn durch sie kann die Vielzahl an Daten in ein lesbares

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Format transformiert werden und somit für Arzt und Patient gleichermaßen ein Mehrwert generiert werden. Schließlich ist die Möglichkeit der Integration externer Medizindienstleistungen von großer Bedeutung. Nur dadurch entsteht eine ganzheitliche Betreuung des Patienten.

Zusammenfassend werden folgende Aspekte als Diskussionsgrundlage in Betracht gezogen:

- Externe Sensorik
- Grad der Mobilität
- Intuitive Handhabung
- Daten-Analyse-Algorithmen
- Integration externer Medizindienstleistungen (z.B. Telemedizinzentren)

Tabelle 7.3 zeigt das Ergebnis dieser Betrachtungen:

Anbieter \ Kriterium	Externe Sensorik		Grad der Mobilität		Intuitive Handhabung		Daten-Analyse-Algorithmen		Integration externer Medizindienstleistungen
	Anzahl	Auswahl Gerätehersteller	Grad	Web-basiert	Arzt	Patient / Angehöriger	verfügbar	Integrierbarkeit	bspw. Telemedizinisches Service Zentrum
COMES®	8	ja	hoch	ja	hoch	hoch	mittel	hoch	Telemedizinisches Zentrum
SHL-Telemedicine	6	nein	hoch	ja	mittel	mittel	wenig	gering	Telemedizinisches Zentrum
Medgate	k.A.	k.A.	hoch		mittel	hoch	nein	nein	Telekonsultation
Bosch Healthcare	5	nein	mittel	ja	mittel	mittel	wenig	gering	nein
Vitaphone	4	nein	mittel	nein	mittel	mittel	wenig	gering	Telemedizinisches Service Center
Tunstall	8	nein	mittel	nein	mittel	hoch	wenig	gering	nein
Dossia	k.A.	k.A.	hoch	ja	hoch	hoch	viel	hoch	nein
OpenTele	7	nein	hoch	ja	hoch	hoch	wenig	gering	nein

**Abb. 7.3.:** Darstellung der Möglichkeiten verschiedener Telemedizinanbieter anhand der Kriterien Sensorik, Mobilität, Handhabung, Daten-Analyse-Algorithmen und Integration externer medizinischer Dienstleistungen

### Anbindung externer Sensorik

Wie Tabelle 7.3 verdeutlicht, besitzen mittlerweile viele Anbieter telemedizinischer Assistenzsysteme ein breites Portfolio medizinischer Messgeräte. COMES® aber zeichnet sich gegenüber seinen Mitbewerbern nicht nur damit aus, dass es Sensorik unterschiedlicher Hersteller und Funkstandards integriert, sondern vor allem dadurch, dass mit Hilfe der vorhandenen Sensorik

eine Vielzahl an Krankheitsbildern abgedeckt werden kann. Dazu zählen neben Herzkreislauferkrankungen und Diabetes, vor allem Asthma und COPD, Adipositas, Bruxismus u.v.m.

### **Grad der Mobilität**

Der Grad der Mobilität hängt davon ab, ob die Nutzerschnittstelle mobil oder stationär ist. Stationäre Lösungen können individuell auf die Bedürfnisse einer speziellen Nutzergruppe angepasst werden, büßen damit aber erheblich an Mobilität ein. Meist ist bei derartigen Lösungen die Bedienoberfläche in das stationäre Gerät integriert. Demgegenüber sind mobile Lösungen flexibel einsetzbar, beispielsweise zuhause, im Büro oder im Urlaub. Dafür werden überwiegend Smartphones oder Tablets verwendet. Die aufbereiteten Daten und Messwerte sind dann online abrufbar. Dies erhöht die Mobilität enorm, da lediglich ein Zugang zum Internet erforderlich ist. Wie die Betrachtung zeigt, sind knapp 2/3 der untersuchten Systeme der mobilen Lösung zuzuschreiben. Dazu zählt auch COMES<sup>®</sup>. Auffällig ist, dass vor allem jüngere Systeme auf die mobile Lösung bauen bzw. schon länger im Markt befindliche Angebote eine stationäre Lösung anbieten.

### **Intuitive Handhabung**

Eines der wichtigsten, wenn nicht sogar das wichtigste Kriterium für die Annahme eines telemedizinischen Assistenzsystems durch Ärzte und Patienten ist eine intuitive Handhabung. Darunter zählt nicht nur, dass Anwender die Bedienung schnell und einfach lernen, sondern auch, dass das Design ansprechend ist. Denn das Design hat sehr großen Einfluss auf Kaufentscheidung und Nutzungshäufigkeit. Viele der hier vorgestellten Anbieter benutzen moderne Designs, vor allem dann, wenn es sich um web-basierte Plattformen handelt. Negativ fallen die Designs von Bosch's Basisstation und SHL Telemedizin auf. COMES<sup>®</sup> hingegen kann durch ein modernes ansprechendes Design überzeugen. Hinsichtlich der intuitiven Handhabung zeigen einige Anbieter Mängel auf. So wirkt Bosch's Web-Plattform für Ärzte überfrachtet, die Nutzerschnittstelle von Vitaphone unübersichtlich und die Darstellung von Tunstall Telehealth nicht immer gut gelöst. Auf der anderen Seite baut COMES<sup>®</sup> auf einfache Handhabung und minimiert die Bedienelemente auf das Notwendigste. Besonders bei der Web-Applikation für mobile Endgeräte wurde dieses Ziel konsequent verfolgt. Nicht immer ist das bei der Web-Plattform für Ärzte in gleicher Art und Weise gelungen. Jedoch zeichnet sich auch diese durch eine äußerst einfache und schnell eingängige Bedienung aus.

### **Daten-Analyse-Algorithmen**

Viele der hier dargestellten Systeme beschränken sich auf die Anzeige der empfangenen Daten und einer Meldung bei Über- bzw. Unterschreiten vorher eingestellter Grenzen. Häufig wird dies als Ampelsymbol dargestellt. Bei manchen Anbietern werden zudem einige Befindlichkeitsabfragen durchgeführt. Es ist jedoch nicht ersichtlich, ob diese für etwaige automatisierte Analysen herangezogen werden. Einzig Dossia und COMES<sup>®</sup> bieten darüber hinausgehende, sehr wichtige Analyse-Algorithmen. Dossia wirbt damit, mit modernen Analysemethoden Gesundheitsrisiken in der Gesellschaft zu erkennen und ein Verständnis dafür zu schaffen, wie diese veränderbar sind. Auch COMES<sup>®</sup> bietet ähnliche Möglichkeiten zur Datenanalyse an. So können nicht nur die besten Motivationen für einen Patienten, sondern auch Eintrittswahrscheinlichkeiten von Komorbiditäten bestimmt werden. Zudem ist die Integration

neuer Daten-Analyse-Algorithmen leicht möglich. Durch diese Möglichkeit der automatisierten Auswertung und Verwendung moderner Algorithmen hebt sich COMES<sup>®</sup> deutlich von anderen Anbietern ab.

### **Integration moderner Medizindienstleistungen**

Zusätzliche medizinische Dienstleistungen, wie beispielsweise telemedizinische Service-Zentren, sind essenziell, um ein vollumfängliches Angebot für Patienten und Ärzte bieten zu können. Durch eine derartige Telekonsultation, wie es Medgate bis hin zur Perfektion betreibt, ermöglicht Patienten einerseits, jederzeit ärztlichen Rat zu erhalten. Dadurch erfahren Patienten Sicherheit. Andererseits können Hausärzte ihren Patienten eine ganztägige ärztliche Betreuung versprechen, ohne selbst 24 Stunden anwesend sein zu müssen. In Kombination mit den vom Patienten selbst erhobenen Messwerten und dem Zugang der bisherigen Krankheitsgeschichte kann eine noch bessere und schnellere Behandlung erfolgen. Vier der untersuchten Anbieter, darunter COMES<sup>®</sup>, stellen eine solche telemedizinische Dienstleistung zur Verfügung. Bei den anderen Anbietern ist dies nicht der Fall. Da COMES<sup>®</sup> ein Forschungsprojekt ist, existiert derzeit zwar kein reales telemedizinisches Service-Zentrum, die dazu notwendige Schnittstelle ist aber bereits integriert.

### **7.2.2. Bewertung gemäß eines „Assessment Models“**

Die objektive Bewertung von Systemen stellt auch in der Wissenschaft eine immer wiederkehrende Aufgabe dar. In der Literatur werden einige Ansätze aufgezeigt, wie sich telemedizinische Systeme allgemein bzw. deren Reifegrad im Besonderen bewerten lassen. So hat im Jahre 2014 van Dyk 491 Paper gesichtet, deren Bestandteil ein Rahmenkonzept (Framework), nützliche Richtlinien (Guidelines) oder ein Modell für telemedizinische Dienstleistungen war. Als Ergebnis konnte der Autor neun Paper auswählen und deren Rahmenkonzepte, Richtlinien und Modelle vergleichen. Die ausgewählten Paper können in sechs Gruppen unterteilt werden [174]:

- Framework in Bezug auf die Verbreitung der Telemedizin
- Framework in Bezug auf E-Readiness
- Telemedizinische Anwendungen der Unified Theory for the Acceptance of Technology
- Richtlinien, die nicht auf einer speziellen Theorie basieren, sondern retrospektiv die Umsetzung einiger telemedizinischer Dienstleistungen betrachten
- Das Comprehensive Model for the Evaluation of Telemedicine
- Framework, das die Entwicklungszyklen von telemedizinischen Dienstleistungen einbindet

Vereinfacht zusammengefasst kann man festhalten, dass die entsprechenden Frameworks auf Fragen- und Bewertungsbögen basieren, Rahmenbedingungen festlegen, mehrdimensionale

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Frameworks aufzeigen oder die Produktlebenszyklen darstellen. In einem Framework werden nicht nur telemedizinische Dienstleistungen und Assistenzsysteme, sondern die Telemedizin allgemein betrachtet, indem es vier Hürden, die die Verbreitung und Durchdringung mit der Telemedizin hemmen, definiert: technische, verhaltensbasierende, ökonomische und organisatorische Barrieren. So ist es zwingend erforderlich, dass die notwendige Technologie verfügbar und das entsprechende Wissen darüber vorhanden ist. Die Verhaltensbarrieren umfassen das Veränderungsmanagement, besonders im Hinblick auf Ablehnung gegenüber Veränderungen sowie Macht und Politik im Umfeld der Telemedizin. Aus ökonomischer Sicht muss eine leistungsgerechte Bezahlung der Ärzte und die Erschließung neuer Märkte erfolgen. Schließlich ist es zwingend erforderlich, bestehende Organisationsstrukturen für telemedizinische Dienstleistungen zu nutzen und institutionelle Unterstützung zum Ausüben dieser Dienstleistungen anzubieten.

Wie bereits erwähnt, sind das allgemeine Hürden, die auch gesellschaftlicher Veränderungen bedürfen und nicht vollumfänglich von einem Telemedizinanbieter behoben werden können. Für die Bewertung von COMES® können sie daher nicht zu Rate gezogen werden. Vielmehr sind an dieser Stelle die sieben zentralen Grundsätze für die erfolgreiche Entwicklung einer telemedizinischen Dienstleistung nach [175] zu erwähnen. Die Prinzipien lauten wie folgt:

1. Telemedizinanwendung und deren Beteiligten sollten sachbezogen, nicht emotional ausgewählt werden.
2. Motivierte Klinikärzte und Telemedizin-Anwender müssen das System besitzen.
3. Telemedizinisches Management und Support sollten auf Basis bewährter Grundsätze geführt werden.
4. Die anzuwendende Technologie sollte so nutzerfreundlich wie möglich sein.
5. Telemedizin-Anwender müssen sehr gut technisch und fachmännisch angeleitet und unterstützt werden.
6. Telemedizinische Anwendungen sollten evaluiert sowie klinisch anwendbar und nutzerfreundlich weiter betrieben werden.
7. Gewonnene Erkenntnisse über die Entwicklung telemedizinischer Anwendungen müssen geteilt werden.

Bei näherer Betrachtung der Verwirklichung des Projektes COMES® wird deutlich, dass bei Planung und Durchführung diese Grundsätze weitestgehend umgesetzt wurden. Neben Technologie-Partnern haben sich Hausärzte und das Rehabilitationszentrum Klinik Höhenried DRV Bayern Süd an der Umsetzung des telemedizinischen Assistenzsystems beteiligt. Von Seiten des Lehrstuhls erhalten alle Anwender kompetente technische Unterstützung.

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES<sup>®</sup>

Lehrstuhl-intern wurden Schulungen durchgeführt, damit mehrere Beteiligte das notwendige Know-How zur technischen Unterstützung besitzen. Dies ist besonders dahingehend wichtig, dass ein ständiges Schulen und Anwenden eines technischen Systems zwingende Voraussetzung für dessen Erfolg ist. Wie bereits in Kapitel 7.2.1 diskutiert, ist COMES<sup>®</sup> ein sehr intuitiv anwendbares und nutzerfreundliches System. Die Leistung und Wirksamkeit von COMES<sup>®</sup> wurde und wird in Kliniken und bei Hausärzten sowie mit Patienten immer wieder erprobt und evaluiert. Bei der Einführung von COMES<sup>®</sup> in Arztpraxen oder Kliniken konnte stets auf vorhandene Managementebenen zurückgegriffen und somit unnötiger Mehraufwand vermieden werden. Entgegen der oben genannten Grundsätze sind aber weder Kliniken noch Ärzte oder Patienten Besitzer von medizinischen Geräten oder der Dienstleistung. Sie erhalten die notwendigen Geräte kostenfrei für die Evaluation. Nach Angaben des Autors von [175] kann dies dazu führen, dass damit die Motivation, ein telemedizinisches Assistenzsystem zu nutzen, sinkt. Schließlich bleibt noch zu erwähnen, dass die gewonnenen Erkenntnisse über die Entwicklungen aufgrund des Forschungsauftrages mehrfach veröffentlicht wurden.

Das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> erweist sich auch nach dieser Betrachtung als hervorragend gerüstet für den zukünftigen Einsatz. Um ein ganzheitliches Bild zu bekommen, werden noch die Entwicklungszyklen von telemedizinischen Dienstleistungen, wie in [174] beschrieben, untersucht und in Tabelle 7.1 aufgelistet.

Phase des Entwicklungszyklus	Kategorie	Bestimmungsfaktor für eine erfolgreiche Umsetzung eines Telemedizinsystems
Prototyp-Phase	Technologie	Unterstützung, Training, Anwenderfreundlichkeit, Qualität
kleines Pilotprojekt	Akzeptanz	Einstellung und Anwenderfreundlichkeit, evidenzbasierte Medizin, Verbreitung und Veröffentlichung
Umfassendes Pilotprojekt	Finanzierung und Organisation	Dienstleister und Strukturen
operative Produkt- und Vermarktungsphase	Politik und Gesetzgebung	Gesetzgebung und Politik, Standardisierung, Sicherheit

**Tab. 7.1.:** Das „Layered Telemedicine Implementation Model“ nach Broens [176], das die Beziehung zwischen der Implementierungsschicht und seiner zugehörigen Bestimmungsgrößen wiedergibt.

Während der Prototypen-Phase liegt der Fokus auf der technologischen Machbarkeit der telemedizinischen Dienstleistung. Es ist zu beachten, dass die Akzeptanz der Anwender gegenüber dieser Technologie bestimmend für deren Erfolg ist. Sobald das Projekt jedoch aus der Kleinpiloten-Phase in die Großpiloten-Phase aufsteigt, sind zunehmend finanzielle und organisatorische Erwägungen für den Erfolg von telemedizinischen Dienstleistung von Bedeutung. Die Forschungsphase, Prototyp und kleine Piloten-Phase, wird meist mittels externer Geldgeber,

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

wie bspw. Förderungen des Bundes oder durch Stiftungen, finanziert. Die finanzielle Nachhaltigkeit nach der Forschungsphase wird aber nur selten berücksichtigt, was mitunter ein Grund des Scheiterns vieler Projekte ist. Organisatorische Angelegenheiten beinhalten die Definition von Standards und Protokollen sowie das Sicherstellen, dass die Firma bzw. Organisation die neue Dienstleistung anpasst und nicht die Technologie gemäß der alten Organisationsstruktur verändert. Schließlich sind Politik und Gesetzgebung ausschlaggebend für eine vollständig umgesetzte telemedizinische Dienstleistung und wird als Operational Product bezeichnet [174].

Im Hinblick auf die soeben vorgestellten vier Phasen des Entwicklungszykluses einer telemedizinischen Dienstleistung nach [176] befindet sich COMES® am Ende der Kleinpiloten-Phase. Die Prototypen-Phase wurde erfolgreich durchgeführt und in dieser Arbeit und verschiedenen Paper ausführlich beschrieben. Zudem wurden mehrere Kleinpiloten, beispielsweise in der Reha-Klinik Höhenried, bei Hausärzten oder mit Testpersonen unterschiedlichen Alters gestartet und durchgeführt. Weitere Kleinpiloten folgen im sogenannten COMES®-Test- und Trainingszentrum, kurz CoKeTT, an der Hochschule Kempten. Danach gilt es, über ein großangelegtes Pilotprojekt die Wirksamkeit von COMES® zu manifestieren, um schließlich eine ausgereifte telemedizinische Dienstleistung in Phase vier anbieten zu können.

Neben den genannten Rahmenkonzepten und Richtlinien existieren noch eine Vielzahl weiterer Bewertungs- bzw. Reifegradmodelle. An dieser Stelle seien das „Telemedicine Service Maturity Model“ (TMSMM), das „Assessment and Evaluation Tools for Telemedicine and Telehealth“ (ASSIST) sowie das „Model for Assessment of Telemedicine“ (MAST) genannt. Sie werden im folgenden knapp beschrieben, jedoch in diesem Stadium der Entwicklung von COMES® nicht zur Bewertung herangezogen, da es sich entweder um Modelle handelt, bei denen ökonomische Aspekte starken Einfluss auf die Bewertung haben, oder um Modelle, deren Fokus auf der Bewertung der Ergebnisse und nicht auf dem Bereitstellen von Richtlinien zur Implementierung von Dienstleistungen liegt. Die Modelle werden hier vorgestellt, denn sie sind sehr hilfreich für die dritte Phase des „Layered Telemedicine Implementation Model“.

### **Telemedicine Service Maturity Model**

Das Telemedicine Service Maturity Model, kurz TMSMM, stellt ein Framework zur Verfügung, womit telemedizinische Dienste untersucht und verbessert werden können [177]. Dazu werden drei Dimensionen betrachtet. In der sogenannten *Domain Dimension* werden fünf Bereiche definiert, die einen ganzheitlichen Blick auf alle Faktoren, die Auswirkung auf die Anwendung telemedizinischer Dienste haben, anbieten. Die *Telemedicine Service Dimension* repräsentiert fünf Mikro-Level Prozesse, ein Meso-Level und ein Makro-Level Prozess pro Domain. Als dritte Dimension wird die Reifegrad-Skala, die *Maturity Scale*, genannt. Diese liefert einen Maßstab für Reifegradmessungen. Die Dimensionen sind in Abbildung 7.4 in englischer Sprache dargestellt [177].

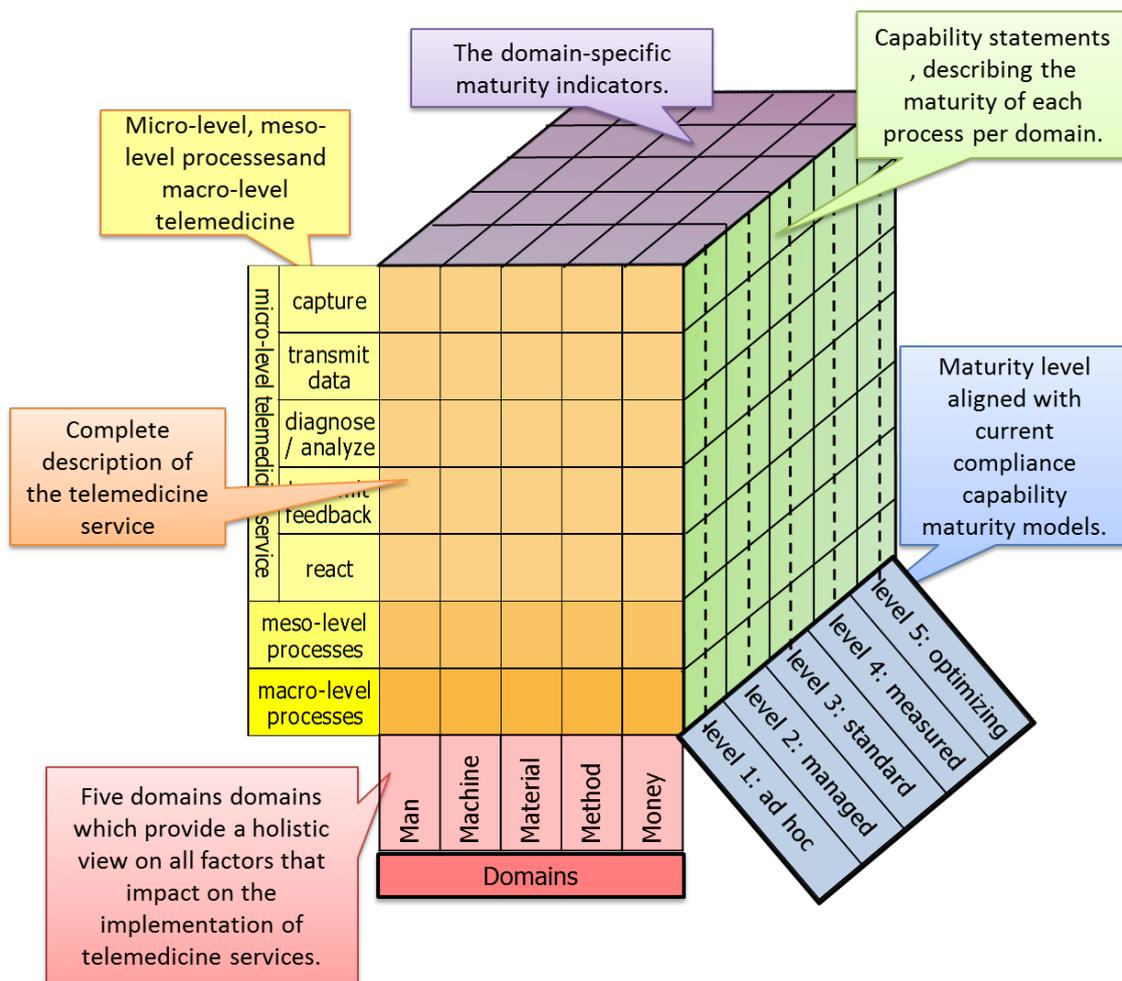


Abb. 7.4.: Konzeptionelles Modell des TMSMM [177]

### Assessment and evaluation tools for telemedicine and telehealth

Als weiteren Ansatz wird das von der Europäischen Weltraumorganisation ESA entwickelte *Assessment and evaluation tools for telemedicine and telehealth (ASSIST)* betrachtet [178]. In diesem Projekt entstand ein Framework, womit die Ergebnisse von Telemedizinprojekten evaluiert werden können. Ziel ist es, über Leistungsverbesserungen zu informieren und die Migration von Telemedizinprojekten in nachhaltige Dienstleistungen zu unterstützen. Im Gegensatz zu Health Technology Assessment (HTA) Methoden, welche ihren Fokus auf eine summative Evaluation für Systementscheidungen im Gesundheitswesen legen, zielt dieses Verfahren auf eine formative Evaluation zur Verbesserungen von Entscheidungen auf operativer Ebene ab. Aufbauend auf einer Vielzahl bereits bestehender Projekte adressiert ASSIST vorrangig zwei Bereiche:

1. Telemonitoring, das durch einen Endanwender, wie Arzt und Patient, charakterisiert ist.

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

2. Telemedizin service zwischen Gesundheitsorganisationen, wie Gesundheitszentren und Krankenhäuser.

Um diese Ziele zu erreichen, werden vier aufeinanderfolgende Schritte durchgeführt: qualitative Analyse, Datenerfassung und -eingabe, quantitative Analyse und Ergebnispräsentation.

In der qualitativen Analyse definiert der Projektmanager den Anwendungsbereich und den Kontext dieser Bewertung (Assessment). Dazu gehört das Festlegen klarer Grenzen des Dienstes, wie bspw. die teilnehmenden und betroffenen Projektbeteiligten (Stakeholder). Die gesamte Dienstleistung ist in eine Umgebung eingebettet, die begünstigende und hemmende Faktoren, wie Erstattungsregeln, Programmwechsel oder Budgetrestriktionen, definiert.

Die Datenerfassung ist Grundlage späterer Kalkulationen. Mittels ASSIST werden die Daten gemäß den drei Schwerpunkten Stakeholder und Art der Kosten sowie des Gewinns strukturiert. Die Schaffung neuer Dienstleistungen kann Auswirkungen auf die finanziellen Mittel, die Mittelumverteilung und -freisetzung oder auf immaterielle Faktoren haben.

Die quantitative Analyse erfolgt auf Basis aller zuvor erhobenen Informationen. Die Werte- und Kostenströme werden aus Datenkombinationen des vorangegangenen Schrittes berechnet, wodurch eine Abschätzung für jede Stakeholder-Gruppe getroffen wird. Diese Berechnungen beziehen Korrekturen für Unsicherheiten und Tendenzen in den Daten sowie den realisierbaren Nettobetrag mit ein. Eine Monte-Carlo Analyse zeichnet eine Stichprobe von dieser Verteilung und berechnet alle wahrscheinlichen Ergebnisse.

Der abschließende Schritt dieser Bewertung ist die Berechnung und Analyse von Leistungsindikatoren, die einen Überblick über die gesamte sozio-ökonomische Leistung und eine Teilanalyse der finanziellen Leistungsfähigkeit insgesamt und für jeden Stakeholder enthalten. Das Ziel ist es, Anwendern bei der Identifizierung der Bezahlbarkeit, finanzieller Risiken und von Stellen größtmöglicher Auswirkungen zu unterstützen.

### **Model for Assessment of Telemedicine**

Der dritte angesprochene Ansatz ist das *Model for Assessment of Telemedicine*, kurz MAST [179]. MAST ist ein Teil des MethoTelemed Projektes, dessen Ziel das Bereitstellen eines strukturierten Rahmenwerkes (Framework) für die Bewertung der Effektivität und des Beitrags zur Qualitätssicherung hinsichtlich Telemedizinanwendungen war. Grundlage des entworfenen Modells sind zwei Arbeitstreffen mit Stakeholder und Nutzern der Telemedizin sowie eine systematische Literaturrecherche. Als Ausgangspunkt dient das „EUnetHTA HTA Core Model for Intervention“.

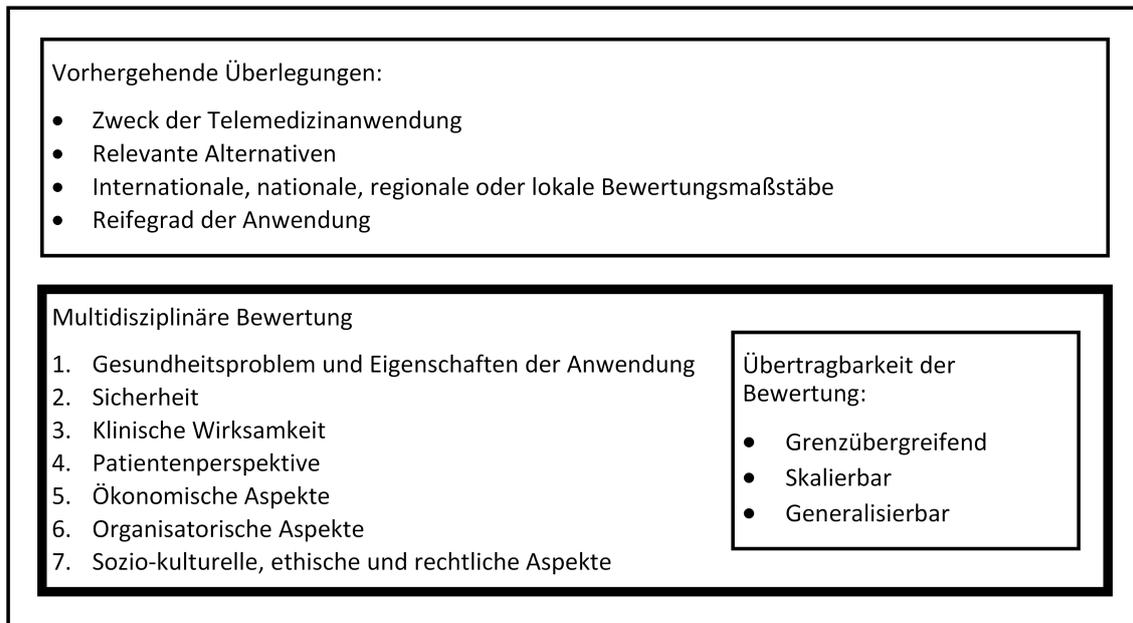
MAST beinhaltet drei Elemente:

- Vorangegangene Überlegungen vieler Punkte, die vor dem Beginn der Bewertung einer Telemedizinanwendung gemacht werden sollten.

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

- Eine multidisziplinäre Bewertung der Ergebnisse der Telemedizinanwendung in sieben Domänen.
- Eine Bewertung der Übertragbarkeit der in der Literatur gefundenen Ergebnisse sowie der Erkenntnisse neuer Studien.

Diese Elemente sind in nachfolgenden Bild 7.5 aufgezeigt.



**Abb. 7.5.:** Auflistung der drei Elemente, die im Modell MAST erforderlich sind [179]

### Zusammenfassung

Bei genauerer Betrachtung der hier vorgestellten Assessment Models ist schnell zu erkennen, dass ökonomische Angaben und Überlegungen für die Bewertung maßgebend sind. TMSMM liefert ein sehr komplexes und ausführlich beschriebenes Modell für die Betrachtung des Reifegrades. MAST stellt einen Fragenkatalog als Excel-Tabelle für die multidisziplinäre Bewertung in sieben Domänen bereit. ASSIST kann mit einem sehr guten Framework in Form einer Excel-Tabelle zur vorwiegend ökonomischen Evaluation von Telemedizinprojekten glänzen.

Sobald COMES® die dritte Phase des Großpiloten, wie oben beschrieben, erreicht, ist es zwingend notwendig, sich mit ökonomischen Aspekten auseinanderzusetzen. Zu Beginn von Phase drei kann MAST eine Hilfestellung geben, um zielgerichtet und einen auf Erfahrungen aufbauenden Großpiloten durchzuführen. Anschließend können ASSIST und TMSMM für die Vermarktung Anreize geben, um schließlich in die vierte Phase eintreten zu können.

### **7.3. Datensicherheit und rechtliche Aspekte**

Ein häufig diskutiertes und besonders in Deutschland zu beachtendes Thema sind Datensicherheit und rechtliche Aspekte. Der Schutz der Privatsphäre und die Wahrung von Grundfreiheiten sind besonders bei der Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten, die bei telemedizinischen Dienstleistungen zwingend anfallen, zu berücksichtigen. Denn durch den Datenmissbrauch können beispielsweise durch Bekanntwerden medizinischer Befunde die Grundrechte von Patienten verletzt und der Patient Folgeschäden davon tragen. Aus diesem Grund ist darauf zu achten, dass medizinische Daten nur mit Zustimmung und vorheriger Aufklärung des Patienten weitergegeben werden. Dieses Einverständnis muss sich der Arzt u.a. dann holen, wenn er mit Hilfe telemedizinischer Assistenz um die Mithilfe anderer Ärzte bei der Behandlung bittet. Es gilt daher in den Systemen sicherzustellen, dass bei der Übermittlung telemedizinischer Daten entsprechende Authentifizierungssysteme oder Verschlüsselungstechniken enthalten sind, die den gesetzlichen Vorgaben zum Datenschutz genügen. Zudem ist anzudenken, inwiefern das aktuelle Datenschutzrecht erneuert oder erweitert werden muss, um den technischen Möglichkeiten gerecht zu werden. Schließlich müssen rechtliche und technische Maßnahmen ergriffen werden, die den Datendiebstahl und den Datenverlust verhindern und eine regelmäßige Aufklärung des Patienten über das System der Datenübertragung und deren möglichen Risiken realisieren. Nur auf diese Weise kann Vertrauen in telemedizinische Leistungen aufgebaut werden und eine Hürde hin zur Aufnahme der Telemedizin in die Regelversorgung überwunden werden [180].

Im telemedizinischen Assistenzsystem COMES® wurde und wird dieser Thematik große Beachtung geschenkt. Einerseits sind gängige und etablierte Anmeldemechanismen integriert worden, wodurch nur berechtigte Personen Zugang zu den Daten haben. Andererseits sind Daten nur dann für andere Ärzte im System verfügbar, wenn sowohl behandelnder Arzt als auch betroffener Patient dieser Datenübermittlung mit vorheriger Aufklärung zugestimmt haben. Schließlich konnte mit einem kompetenten Industriepartner, der sich auf das Speichern, Sichern und Schützen von Daten spezialisiert hat, die ständige Verfügbarkeit der Daten gewährleistet und die Sicherheit vor Datendiebstahl garantiert werden. Zudem sichert der Industriepartner zu, dass die Daten physikalisch in Deutschland sind, womit deutsches Recht anwendbar ist.

### **7.4. Akzeptanz von telemedizinischen Assistenzsystemen und ökonomisch volkswirtschaftliche Betrachtung**

Telemedizinische Assistenzsysteme bzw. Telemedizin im Allgemeinen bedürfen der Akzeptanz aller Protagonisten. Dies sind einerseits die Patienten und Ärzte, andererseits auch Krankenhäuser, Krankenkassen, uvm. Dabei impliziert das Wort Akzeptanz, dass der Anwender das System von sich aus annimmt und nicht von außen aufgesetzt bekommt. Der Patient muss davon überzeugt sein, dass das telemedizinische Assistenzsystem seine medizinischen Bedürfnisse befriedigt. Der Arzt könnte hierbei als Mittelsperson dienen. Es sind aber bei derartigen Systemen die wirtschaftliche Situation der Ärzte und das Arzt-Patienten-Verhältnis

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

zu berücksichtigen. Der alleinige Patientennutzen reicht nicht aus, damit ein Arzt zum aktiven Werber und Vertreter der Telemedizin wird. Auch bedarf es einer stärkeren Ausweitung der medizinischen Ausbildung um die Telemedizin. Ferner ist die Einbindung von behandelnden Ärzten in die Ausgestaltung der telemedizinischen Versorgung mangelhaft. Dadurch finden die haus- und fachärztlichen Ansprüche kaum Beachtung. Um die Akzeptanzbereitschaft zu steigern, ist es erforderlich, dass Arzt und Patient eine Vorstellung von den Zusammenhängen und ihren jeweiligen Vorteilen bei einer telemedizinischen Behandlung bekommen [180].

Eigene, während der Projektlaufzeit durchgeführte Untersuchungen bei Probanden u.a. in der Rehabilitationsklinik Höhenried haben gezeigt, dass bei 95,7% der beteiligten Probanden die Sinnhaftigkeit der Telemedizin gegeben ist. Besonders Selbstkontrolle, Eigenverantwortung und Eigenmotivation werden als positiv bewertet. Auch können sich über 90% der Probanden vorstellen, ein System wie COMES® zu einem späteren Zeitpunkt im Alltag zu nutzen [181]. Diese positive Bewertung kann auch seitens der Ärzteschaft wieder gefunden werden, wie beispielsweise die vom Institut für Demoskopie Allensbach im April 2010 durchgeführte Befragung von knapp 600 niedergelassenen und Krankenhausärzten zeigt [182]. Weit mehr als zwei Drittel der Befragten sprechen der Teleradiologie, Telekonsultation und dem Telemonitoring einen sehr großen bzw. großen Nutzen zu. Weiterhin denken 48% der niedergelassenen Ärzte und 80% der Krankenhausärzte, dass die Telemedizin eine immer wichtigere Rolle in ihrer Praxis spielen wird.

Man sieht, dass auch innerhalb der Ärzteschaft die Akzeptanz gegenüber telemedizinischen Systemen steigt. Mögen auch jüngere Ärzte deutlich häufiger von den Vorteilen der Telemedizin überzeugt sein als ältere, so ist dies dennoch nur bedingt eine Generationenfrage. Vielmehr ist der Ort der ärztlichen Ausübung von Interesse. Krankenhausärzte stehen der neuen Technologie aufgeschlossener gegenüber als niedergelassene Ärzte [182].

Die Wichtigkeit der Akzeptanz der Telemedizin manifestiert sich schließlich auch in dem Positionspapier zu den „Voraussetzungen für gute Telemedizin“, verfasst vom Vorstand der Bundesärztekammer [183]. Darin wird festgehalten, dass „Telemedizin und konventionelle Medizin (...) der Akzeptanz der beteiligten Ärzte [bedürfen] und (...) nicht als Gegensätze angesehen werden“ dürfen. Weiterhin ist die „Akzeptanz und Unterstützung sinnvoller telemedizinischer Anwendungen durch die jeweiligen Fachgesellschaften“ sicherzustellen.

Die stetig steigende Akzeptanz bei allen Beteiligten, dazu zählen neben Ärzten und Patienten auch Versorgungsträger wie Krankenkassen, ist ein wichtiger Pfeiler, damit die Telemedizin in Zukunft eine Chance hat. Diese Akzeptanz zu schaffen ist ein langwieriger und fortwährender Prozess, der von den Befürwortern gemeinsam und in einem Wortlaut durchgeführt werden sollte. Nicht minder wichtig ist in Zukunft die Ausarbeitung von Geschäftsmodellen, damit die Telemedizin für alle finanziell tragbar wird. Obwohl die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle schon seit einigen Jahren ein Schwerpunkt innerhalb der telemedizinischen Forschung darstellt, sind die Ergebnisse doch relativ ernüchternd. Kaum eines dieser Modelle hat es geschafft, in die Realität umgesetzt zu werden.

Der Entwurf derartiger Geschäftsmodelle ist eine herausfordernde Aufgabe. Nicht nur die

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

Kunden, wie Patient, Arzt, Krankenhaus, Pflegeheim, Krankenkasse u.v.m. können vielschichtig sein, sondern auch die Marktleistung und die daraus entstehenden Kosten und Erlöse. Im Projekt KOMPASS wurden in Kooperation mit dem Heinz Nixdorf Institut Paderborn neun wertschöpfungsketten-orientierte Geschäftsmodelle für telemedizinische Assistenzsysteme entwickelt und anschließend evaluiert. Dabei werden Pharmaunternehmen, niedergelassene Ärzte, Pflegeheime und Kliniken, Wohlfahrtseinrichtungen, Anbieter wie Apotheken, Kommunikationsunternehmen oder telemedizinische Zentren sowie Krankenversicherungen als Anbieter telemedizinischer Assistenzsysteme gesehen. Als Resultat der Evaluation sind folgende drei Geschäftsmodelle am aussichtsreichsten [21]:

1. Im Rahmen von Anschlussheilbehandlungen werden telemedizinische Leistungen von Kliniken und Krankenhäusern verwendet. Dadurch soll einerseits die Therapiequalität erhöht und andererseits die Kosten aufgrund geringerer Aufenthaltsdauer im Krankenhaus bzw. in der Klinik reduziert werden.
2. Der Endanwender kann über verschiedene Anbieter, wie Apotheken, Kommunikationsunternehmen oder telemedizinische Zentren telemedizinische Leistungen erwerben. Damit soll die Sicherheit im Alltag vor allem für chronisch kranke Anwender erhöht werden. Die Kosten für die Dienstleistung trägt allein der Endanwender.
3. In einem weiteren Geschäftsmodell werden telemedizinische Leistungen in den Regelkatalog der Krankenversicherungen mit aufgenommen, wodurch sie eine Abrechnungsziffer erhalten. Chronisch Erkrankte sollen telemedizinische Leistungen beziehen können und somit teure Krankenhausaufenthalte vermieden, zumindest reduziert, die Compliance erhöht und der Therapieerfolg gesteigert werden.

Das unter Punkt eins beschriebene Geschäftsmodell für die Anschlussheilbehandlung deckt sich mit der Erkenntnis, dass Klinikärzte eine große Bereitschaft zeigen, die Telemedizin im Allgemeinen zu nutzen. Hier liegt vielmehr die Kunst darin, die Klinikbetreiber davon zu überzeugen, dass mit telemedizinischen Assistenzsystemen eine höhere Auslastung bei gleichzeitig geringeren Kosten pro Patient erzielt werden kann.

Die Herausforderung für das unter Punkt zwei beschriebene Geschäftsmodell, das Patienten als zahlungsbereite Endanwender fokussiert, ist vielfältig. Sie besteht nicht nur darin, den Vertreter der telemedizinischen Leistung, wie Apotheken oder Kommunikationsunternehmen derartige Systeme schmackhaft zu machen, sondern letztlich auch den Endanwender von der Notwendigkeit telemedizinischer Assistenzsysteme zu überzeugen. Im Rahmen der deutschen „Rundum-Versicherungs-Mentalität“ könnte sich dies jedoch als sehr schwierig erweisen.

Das unter Punkt drei beschriebene Geschäftsmodell für die Aufnahme in den Regelkatalog der Krankenversicherungen klingt am Anfang als das erfolgversprechendste, ist jedoch auch das langwierigste und mitunter risikoreichste Unterfangen. Die Aufnahme einer Leistung in die Regelversorgung bedarf wissenschaftlich anerkannter und aussagekräftiger Studien. Dabei muss das Ergebnis eine bessere, schonendere Therapiemethode bei gleichbleibenden oder geringeren Kosten mit identischen Therapieerfolg sein. Dieser Nachweis erfordert hohen

finanziellen und zeitlichen Aufwand und garantiert nicht den Erfolg.

Es könnten noch weitere Forschungsgruppen genannt werden, die sich mit der Entwicklung von Geschäftsmodellen im Bereich der Telemedizin beschäftigen. Exemplarisch sei hier auf [184] und [185] verwiesen.

Letzten Endes müssen alle Beteiligten auf finanzieller, qualitativer oder sicherheitsrelevanter Ebene überzeugt werden. Nur so hat ein Geschäftsmodell und damit auch die Telemedizin in Deutschland eine Chance.

## **7.5. Ethische Betrachtung in der Telemedizin**

Die Informationstechnologie birgt ein großes Potential für die Medizin. In Diagnostik, Therapie, Rehabilitation oder Palliation haben informationsverarbeitende medizintechnische Systeme bereits Einzug gehalten. Neue Behandlungsmethoden und Therapien verändern „das Profil der Medizin als Heilkunst und wissenschaftliche Disziplin“ [186]. Dies führt aber auch zu einer veränderten sozialen Beziehung zwischen Arzt und Patient. Es zwingt sich daher auf, sich aufgrund dieser enormen Digitalisierung und gesellschaftlichen Vernetzung ethischen Fragen zu stellen. „Ethik ist neben der Abwägung von Nutzen und Schaden vor allem die Reflexion ernster moralischer Fragen, mit denen entschieden wird, 'wer wir sind und was für Menschen wir sind (und) in welcher Gesellschaft wir leben'“ [186].

Im Folgenden sollen neben allgemeinen Überlegungen zu ethischen Bewertungsmaßstäben in der Informationstechnologie auch punktuelle Anwendungen der Telemedizin betrachtet werden. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit ethischer Betrachtungen in der Telemedizin erhoben, sondern es sollen vielmehr ethische Denkanstöße gegeben werden.

Die telemedizinische Leistung kann aus Patientenkonsultation, Diagnose, Patienten- und Kollegenberatung, direkter medizinischer Intervention oder nachträglicher Datenauswertung und Archivierung einzeln oder in Kombination bestehen. Darüber hinaus können diese Leistungen einzelnen Patienten gegenüber erbracht werden oder im Bereich der kollektiven Datenauswertung auch der Präventiv- und Sozialmedizin zur Verfügung stehen. All diese Fälle bedürfen einer differenzierten ethischen Reflexion [187].

Für eine ethische Betrachtung ist es zunächst notwendig, die ethische Gestaltung der Bewahrung der Privatsphäre zu beleuchten. Dazu werden drei Schichten und Bereiche der Informationsquellen und der Informationsvermittlung aufgezeigt. Die oberste Schicht betrifft Informationen, die in der Regel nur das Individuum betreffen. Dazu zählen beispielsweise Informationen über sexuelle Präferenzen und Orientierungen oder Informationen über affektive Beziehungen. Keiner gesellschaftlichen Instanz soll es ohne Weiteres ermöglicht werden, von diesen Informationen Kenntnis zu erlangen. Nur in berechtigten Ausnahmefällen ist eine Freigabe möglich. In einer zweiten Schicht existieren Informationen, durch deren Offenbarung

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

unter Umständen die Identität einer Person gefährdet werden kann. Wird eine vergangene Krankheit einer Person bekannt, so ist dies noch keine Verletzung der Privatsphäre. Wird diese Information jedoch in einem gewissen Zusammenhang gestellt, wie der Kandidatur zu einem politischen Amt, könnte dies durchaus zu einer signifikanten Benachteiligung dieser Person führen. In einer letzten Schicht finden sich Informationen, die die Privatsphäre nicht berühren. Dadurch, dass sie aber beispielsweise systematisch und telematisch verarbeitet und verbreitet werden, könnte dies zu einer signifikanten Benachteiligung führen. All diese aufgezeigten Schichten sind unscharf in ihrer Abgrenzung und bedürfen einer sorgfältigen Interpretation sowie einer kontextbezogenen Auslegung. Erst danach könnten moralische oder rechtliche Vorwürfe erhoben werden [187].

Diese relativ einfache und schon häufig diskutierte ethische Betrachtung ist für die spezifischen Züge und Folgen von Informatik und Telematik nicht ausreichend. Vielmehr muss hier eine spezifischere Reflexion gefordert werden. So ist es für Maschinen nicht in jeder Situation möglich, die Berechtigung des Zugangs zu den gespeicherten Informationen zu überprüfen, da „Maschinen berechnen, aber nicht echt bewerten können“ [187]. Die Archivierung der Daten selbst mag zwar mit den gleichen Kriterien wie bei bisherigen Archivierungssystemen bewertet werden, jedoch muss die erleichterte Kombinationsmöglichkeit kontrovers diskutiert und reflektiert werden. So gilt es beispielsweise zu hinterfragen, ob die Religionszugehörigkeit von Patienten in einem Krankenhaus den öffentlichen oder persönlichen Daten zuzuschreiben ist. Einerseits sollte die Seelsorge für jeden leicht zugänglich sein. Andererseits kann das Wissen über die Religionszugehörigkeit des Patienten einen Arzt in eine konfliktäre Situation führen. Ein möglicher Ausweg hierbei ist die Teilanonymisierung der Daten. Des Weiteren können die gespeicherten Informationen nicht nur archiviert, sondern auch kombiniert werden, wodurch neues Wissen vorgeschlagen werden kann. Es obliegt dem Anwender, ob und wie er über dieses neue Wissen verfügt. Ethisch gilt es zu hinterfragen, ob allein die Möglichkeit der Kombination von Informationen und der damit bezweckten zukünftigen Optimalisierung von Diensten für künftige Patienten ausreicht, die Sammlung von Daten zu legitimieren. Schließlich kann nicht nur neues Wissen erzeugt, sondern sogar mögliche Entscheidungen vorgeschlagen werden. Diese „Entscheidung“ ist jedoch höchstens eine „Berechnung“. Maschinen können den Menschen durch ihre Berechnungen darin unterstützen, Entscheidungen zu treffen, aber niemals selbst welche fällen. Diese differenzierte Betrachtung zwischen der Rechenleistung einer Maschine und der genuinen Leistung eines Menschen muss jedem bewusst gemacht werden [187].

Zusammenfassend sollen diese kurzen Ausführungen zu einer positiven Gesamteinschätzung führen, welche die „Informatik und Telematik als geeignete Instrumente der Informationssammlung und -verarbeitung in einer demokratischen Gesellschaft betrachten“ [187]. In der Medizin kann die Anwendung von Informatik und Telematik ambivalente Folgen haben. Diese müssen dann im Einzelfall ethisch reflektiert werden.

Im Sinne der Telemedizin gilt es zu reflektieren, ob es durch die Vernetzung im administrativen Bereich zu Entlastungen oder verstärkter Bürokratisierung von medizinischen und pflegerischen Personal kommt. Eines der wichtigsten Kriterien ist jedoch die Steigerung der

## 7. Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen von COMES®

menschlichen Qualität der medizinischen und pflegerischen Leistung durch Informationssysteme. Ferner können, wie bereits erwähnt, medizinische Entscheidungen auf Basis telematischer Kontakte und Informationsaustauschen gefällt werden. Hierin ist es notwendig zu klären, wer letztendlich die moralische und rechtliche Verantwortung derartiger medizinischer Leistungen übernimmt. Eine weitere Gefahr besteht darin, den Patienten auf seine Daten zu reduzieren. Es ist daher ethisch betrachtet besonders wichtig, dass die sozialen Beziehungen und die Wahrnehmung unausgesprochener Worte weiterhin ihren Stellenwert beibehalten. Schließlich ist zu beachten, dass es sich bei der Personengruppe, die telemedizinische Leistungen in Anspruch nehmen, um verletzbare Menschen handelt, die unter Umständen die „Komplexität des sozio-technischen Arrangements und dessen Implikation nicht mehr überblicken“ [186]. Technische Systeme können einerseits die Selbstbestimmung dieser Person fördern, andererseits kann die Person durch diese kontrolliert und isoliert werden und somit fremdbestimmt sein. Der Kern einer moralischen Person ist aber die Selbstbestimmung und Autonomie [186], [187].

Diese aufgezeigten ethischen Punkte sollen nicht gegen Telemedizin argumentieren, sondern vielmehr auf eine verantwortungsvolle Gestaltung telemedizinischer Systeme hinweisen. Information, Beratung und Reflexion der Akteure stellen einen guten Weg hierfür dar.

# 8. Ausblick

## 8.1. Erweiterungen des Systems

Im Verlauf dieser Arbeit sind einige Ideen zur Verbesserung des telemedizinischen Assistenzsystems COMES<sup>®</sup> auch in Bezug auf eine spätere Markteinführung entstanden, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

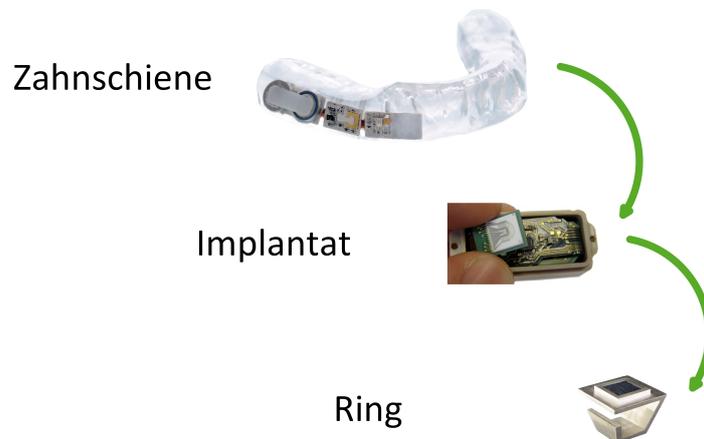
### 8.1.1. Medizinische Geräte

Im Laufe des Projektes hat sich herausgestellt, dass einerseits Anwender die Anzahl der verfügbaren Sensorik als unangenehm empfinden, andererseits für nur sehr seltene Krankheiten wirklich alle medizinischen Sensoren benötigt werden. Ferner fehlen noch Messgeräte zur Erhebung weiterer Parameter, womit ein ganzheitlicher Blick auf die Erkrankung des Patienten im Sinne der Messbarkeit erfolgen kann. Wie bereits in Kapitel 7.1 diskutiert, liegt es nahe, dem Anwender ein medizinisches Messgerät, das die unterschiedlichen Messsysteme vereint und weitere hinzufügt, zur Verfügung zu stellen. Ein erster Ansatz dazu ist im Projekt KOMPASS entstanden. Es wurde ein telemedizinisches Endgerät zur Messung von Blutdruck, Puls, Sauerstoffsättigung des Blutes, Hautleitfähigkeit und Blutzucker entwickelt, das zudem eine Schnittstelle zu einer externen Waage bereitstellt. In Abbildung 7.2 (Kapitel 7.1) sind drei Designvarianten, die während der Projektlaufzeit entstanden sind, dargestellt.

In nur einem Messvorgang können somit eine Vielzahl an Parameter erfasst werden. Dabei werden die Messwerte über den Finger abgegriffen. Eine sehr einfach zu bedienende Software und die Integration der in dieser Arbeit vorgestellten COMES<sup>®</sup> Web-Applikation für mobile Endgeräte ermöglicht auch technisch unerfahrenen Anwendern die Nutzung dieses medizinischen Gerätes.

Eine folgerichtige Konsequenz dieser Entwicklung ist nun die Miniaturisierung der entstandenen Elektronik und Integration in einen Ring, was patentrechtlich dem Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik zugeschrieben ist [188]. Durch diese Entwicklung kann auch einer Stigmatisierung vorgebeugt werden; denn viele Menschen empfinden es als unangenehm, ihren Blutdruck oder Blutzucker in der Öffentlichkeit oder vor Bekannten zu messen. Schließlich könnte mit der Entwicklung eines Ringes die Messung automatisiert erfolgen, was eine gute Datenquelle für die Therapie mit sich bringt. Die Evolution der am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik entwickelten Elektronik beginnend von der Zahnschiene zur Behandlung von Bruxismus über das intelligente Implantat bis hin zu ei-

nem modernen Ringdesign bzw. die Ansicht eines aufgeschnittenen Ringes zeigt Abbildung 8.1.



**Abb. 8.1.:** Evolution der Elektronikentwicklung am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik von Zahnschiene über Implantat bis hin zu einem modernen Ringdesign

### 8.1.2. Datenverarbeitung

In COMES<sup>®</sup> sind Data Mining-Methoden umgesetzt worden, damit aus bestehenden Daten ein Mehrwert generiert werden kann. So ist beispielsweise die Vorhersage der Eintrittswahrscheinlichkeit depressiver Symptome bei Vorliegen eines Diabetes Mellitus möglich. Auch können auf Basis diverser Parameter optimale Motivationen erkannt werden. Wie aber bereits in Kapitel 4.2.2 erwähnt, sind noch eine Vielzahl weiterer, noch nicht in COMES<sup>®</sup> realisierter Einsatzmöglichkeiten mit Data Mining-Algorithmen möglich. Allein der Ausbau von COMES<sup>®</sup> im Bereich der Therapie um Therapieprognose und Therapieauswahl würde einen weiteren Mehrwert nach sich ziehen. Mittels Therapieprognose könnte auf Basis des aktuellen Zustandes eines Patienten auf einen möglichen Ausgang der Therapie rückgeschlossen werden. Somit wäre eine Aussage über den Erfolg einer Therapie möglich. Geht man einen Schritt weiter, so könnte COMES<sup>®</sup> den Ärzten aufgrund vorliegender Patientendaten unterschiedliche Therapien vorschlagen, die für den Patienten mit großer Wahrscheinlichkeit geeignet sind. Der Arzt entscheidet dann auf Basis seiner Erfahrung, welche dieser vorgeschlagenen Therapiemaßnahmen durchgeführt wird.

Weiterhin sollte die automatisierte Motivation ausgebaut werden. Für die Bewegungsmotivation ist es beispielsweise sinnvoll, Wetter- und Kulturdaten mit einfließen zu lassen, um auf aktuelle Wetterverhältnisse und anstehende Kulturereignisse zu reagieren. Der kulturinteressierte Anwender könnte zu einer Radtour in ein Kloster animiert werden, um dort eine Sonderausstellung anzusehen. Auch sollte die Motivation um andere Bereiche außerhalb der Bewegung ergänzt werden. Hier ist vor allem die für Diabetiker notwendige Ernährungsumstellung anzumerken. COMES<sup>®</sup> könnte gute und gesunde Rezepte vorschlagen und Empfehlungen

im Restaurant liefern.

### 8.2. Anwendungsgebiete

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit hat das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> die kleine Pilotenphase abgeschlossen. In einem nächsten Schritt sollte nun in der großen Pilotenphase der Nachweis der Wirksamkeit von COMES<sup>®</sup> erbracht werden. Dazu ist es notwendig, anhand eines Krankheitsbildes zu untersuchen, welchen Vorteil COMES<sup>®</sup> gegenüber der Nichtnutzung des Systems hat. Dies ist besonders dahingehend wichtig, wenn man anstrebt, die Nutzung von telemedizinischen Assistenzsystemen wie COMES<sup>®</sup> in den Leistungskatalog der Krankenkassen aufnehmen lassen zu wollen. In der Vergangenheit wurde für derartige Studien gerne das Krankheitsbild Herzinsuffizienz oder COPD herangezogen. Man könnte aber auch die Eignung der Telemedizin auf Basis seltener Erkrankungen, die einer hochspezialisierten Versorgung bedürfen, untersuchen. Ein solches Beispiel wäre die Hämophilie [189].

Es ist auch hier wieder erkennbar, dass für telemedizinische Assistenzsysteme eine Vielzahl an Anwendungsgebiete existieren. Während dieser Arbeit lag das Augenmerk vorrangig auf chronisch kranke Patienten, wie beispielsweise Diabetiker oder Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen, und Patienten in einer Rehabilitationsklinik. Darin zeigen sich die Stärken von COMES<sup>®</sup> eindeutig. Besonders in Bezug auf die notwendigen Lebensstiländerungen werden Patienten in ihrer Therapie unterstützt. Aber auch der Arzt profitiert von der guten Dokumentation, um die Therapie entsprechend anzupassen. Zukünftig könnte COMES<sup>®</sup> auch für Bewohner in betreuten Wohngemeinschaften eingesetzt werden. Die Bewohner werden mit COMES<sup>®</sup> ausgestattet und beobachten die im Alter häufiger vom Normalzustand abweichenden Parameter selbst. Darin werden sie von COMES<sup>®</sup>, den Betreuern, aber auch vom behandelnden Arzt unterstützt. Damit könnte den Bewohnern ein zusätzliches Sicherheitsgefühl gegeben werden und sie ihrem Ziel, möglichst lange selbstständig zu Hause zu wohnen, näher kommen. Außerdem ist es für betreute Wohngemeinschaften ein zusätzliches Verkaufsargument, ein telemedizinisches Assistenzsystem mit einem kooperierenden Arzt anbieten zu können.

Wie die Ausführungen in dieser Arbeit immer wieder vor Augen führen, kombiniert die Anwendung und Erforschung telemedizinischer Assistenzsysteme verschiedene Fachdisziplinen: Mikrosystemtechnik, Kognitionsforschung, Informations- und Kommunikationstechnik, Medizin, Psychologie, Pädagogik u.v.m. Mit COMES<sup>®</sup> ist es nun gelungen, die Resultate der Arbeiten aus den einzelnen Fachbereichen zusammenzuführen und somit den Nutzen für den Anwender zu erhöhen. So ist beispielsweise das Einbinden eines telemedizinfähigen Spirometers, das mit einem dazugehörigen Aerosoldosiersystem gekoppelt ist, einer intelligenten Zahnschiene für Bruxismus-Patienten [190], einem Sensor zur Diagnostik und Therapie von atembezogenen Schlafstörungen [191], einem intelligenten Implantat und eines portablen, miniaturisierten Labors zur biochemischen Flüssigkeitsanalysen [192] - alles Produkte, die am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik in Zusammenarbeit mit dem angeglieder-

## 8. Ausblick

ten Innovationszentrum für Medizinelektronik entstanden sind - möglich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das telemedizinische Assistenzsystem COMES<sup>®</sup> als autonomisierendes emanzipatorisches System den Patienten im Mittelpunkt seiner Erkrankung sieht. Als mündiger Patient möchte er bei Behandlungskonzepten mitsprechen und mitentscheiden können. Dafür benötigt der Patient das notwendige Wissen und Verständnis über seine Erkrankung. Neben der ärztlichen Betreuung können objektive, neutrale und unabhängige Informationsdienste den Patienten in seinem emanzipatorischen Streben unterstützen. Mit COMES<sup>®</sup> ist schließlich ein System entstanden, das diese Hilfestellung zu geben vermag.





# Publikationen

## Preise:

### Best-Poster-Award 2011

- [1] Spittler, T. ; Handwerker, M. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- a Telemedical Assistance System for Early Recognition of Depression at Heart Failure. In: PERNER, P. (Hrsg.): *Advances in Data Mining*. New York, USA : ibai-publishing, 2011, S. 48 – 53

Teile der vorliegenden Arbeit wurden wie folgt veröffentlicht:

## Publikationen:

- [2] Spittler, T. ; Polterauer, D. ; Clauss, J. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Monitoring of Therapeutic Progress by COMES<sup>®</sup>. In: Wichert, R. (Hrsg.) ; Klausning, H. (Hrsg.): *Ambient Assisted Living*. Berlin, Germany : Springer International Publishing, 2015, S. 67–74
- [3] Wolf, B. ; Spittler, T. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Friedrich, P. ; Herzog, K. : Telemedizin - rundum gut betreut. Einsatzgebiete des telemedizinischen Netzwerkes COMES<sup>®</sup>. 4. Bulletin, 2014, S. 33–37
- [4] Wolf, B. ; Spittler, T. ; Herzog, K. ; Clauss, J. ; Friedrich, P. ; Scholz, A. : COMES<sup>®</sup>- Cognitive Medizinische Systeme für Diagnose und Therapie. In: Duesberg, F. (Hrsg.): *e-Health 2014 Informations- und Kommunikationstechnologien im Gesundheitswesen*. Solingen : Medical Future Verlag, 2013, S. 254–262
- [5] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>: Interactive, Telematic-Therapeutic Assistance. In: *Applied Psychophysiology and Biofeedback* Bd. 36 Springer/Plenum Publishers 233 Spring ST, New York, NY 10013 USA, 2011, S. 290–291
- [6] Wolf, B. ; Grothe, H. ; Brischwein, M. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Schmidhuber, M. ; Becker, B. ; Becker, S. ; Kleinhans, R. ; Wiest, J. ; Spittler, T. ; Friedrich, P. : Vom Sensorarray zu intelligenten Therapiesystemen. In: *Medizintechnik in Bayern*. 2010, S. 24–31
- [7] Wolf, B. ; Friedrich, P. ; Herzog, K. ; Becker, S. ; Brischwein, M. ; Clauss, J. ; Demmel, F. ; Dill, D. ; Scholz, A. ; Wiest, J. ; Grothe, H. ; Gül, M. ; Hofsføy, D. A. ; Schmidhuber, M. ; Spittler, T. : Elektronik für ein gesundes Leben. In: *Medizintechnik in Bayern*. 2011, S. 18–27

- [8] Wolf, B. ; Martin, B. ; Helmut, G. ; Friedrich, P. ; Schmidhuber, M. ; Grundl, D. ; Spittler, T. ; Cabala, E. ; Becker, S. ; Gleich, B. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Wiest, J. ; Becker, B. ; Wolf, P. : Komponenten und Systeme für die personalisierte Assistenz. In: Niederlag, L. H. W. (Hrsg.): *Personalisierte Medizin*. 14. Health Academy, 2010, S. 215–234

## Fachvorträge:

- [9] Spittler, T. ; Bachinger, T. ; Kirchmann, M. ; Wolf, B. : Support of Therapy for Cardiovascular Diseases by Telemedical Intervention. In: *IADIS WWW/Internet*. Fort Worth, Texas, USA, 2013
- [10] Spittler, T. ; Handwerker, M. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Early Recognition of Depression at Diabetes Mellitus with the Cognitive Medical System COMES®. In: *IADIS WWW/Internet 2011*. Rio de Janeiro, Brasilien, 2011
- [11] Spittler, T. ; Friedrich, P. ; Frank, T. ; Tübinger, S. ; Wolf, B. : Convenient and Individual Diabetes Management with COMES®. In: *pHealth*. Berlin, 2010
- [12] Friedrich, P. ; Neumann, B. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : From Smart House to Smart Health. In: *SEEEI Annual Convention*. Eilat, Israel, 2011
- [13] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : COMES®- ein telemedizinisches Assistenzsystem für die individualisierte und personalisierte Diagnose und Therapie. In: *6. Jahrestagung des Vereins Arbeitskreis Mikrosysteme für Biotechnologie und Lifesciences e.V.*. Sankt Augustin, 2010
- [14] Wolf, B. ; Friedrich, P. ; Spittler, T. : COMES®- ein sensorgestütztes Assistenzsystem für die telematische Prävention und Studiendurchführung. In: *Hypertoniekongress*. 2009

## Wissenschaftliche Präsentationen auf Fachtagungen (Veröffentlichungen in Tagungsbänden):

- [15] Spittler, T. ; Polterauer, D. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Rehabilitation's Aftercare by COMES®. In: *European Congress on e-Cardiology & e-Health*. 2014
- [16] Friedrich, P. ; Kneitz, J. ; Martius, P. ; Weber, R. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : Telemedizinische Anwendungsbeobachtung mit COMES®im klinischen und heimischen Umfeld. In: *6. Deutscher AAL-Kongress*. Berlin, Germany : VDE Verlag GmbH, 2013, S. 87–89
- [17] Spittler, T. ; Weiss, R. ; Orban, A. ; Martius, P. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Telemedizinische Assistenz in der akuten und nachsorgenden Rehabilitation. In: *6. Deutscher AAL Kongress*. Berlin, Germany : VDE VERLAG GmbH, 2013, S. 90 – 92

- [18] Spittler, T. ; Weiss, R. ; Köhl, S. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Care Of Cardiovascular Disease With COMES<sup>®</sup>. In: *Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, IEEE International Conference. Berlin, Germany, 2013, S. 58 – 59
- [19] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- a concept for personalized Telemedical Assistance. In: *2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)*, 2011
- [20] Spittler, T. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- ein zukunftsweisendes telemedizinisches Assistenzsystem. In: *Heinz Nixdorf Symposium Bioelektronische Diagnose und Therapiesysteme*. München : Heinz Nixdorf Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, 2010, S. 161–162
- [21] Spittler, T. ; Friedrich, P. ; Frank, T. ; Tübinger, S. ; Wolf, B. : Mobile Healthcare – Diabetes Management mit COMES<sup>®</sup>. In: *44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT)*. Rostock : VDE - Proceedings, 2010
- [22] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Tübinger, S. ; Tiedge, W. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- ein Konzept zur personalisierten telemedizinischen Assistenz - oder - auf Anruf Arzt. In: Duesberg, F. (Hrsg.): *E-health 2011 Informationstechnologien und Telematik im Gesundheitswesen*. Solingen : Medical Future Verlag, 2010, S. 254–260
- [23] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Hofsfø, D. A. ; Becker, S. ; Tiedge, W. ; Tübinger, S. ; Wolf, B. : Mobile Healthcare–Auf Anruf Arzt ( $a^3$ ). In: *Ambient Assisted Living-AAL* (2010)
- [24] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- ein Konzept zur personalisierten telemedizinischen Assistenz. In: *Heinz Nixdorf Symposium Bioelektronische Diagnose und Therapiesysteme*. München : Heinz Nixdorf Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, 2010, S. 81 – 83
- [25] Friedrich, P. ; Spittler, T. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Hofsfø, D. A. ; Tiedge, W. ; Tübinger, S. ; Wolf, B. : COMES<sup>®</sup>- ein komfortables kognitives Assistenzsystem für die Prävention und Rehabilitation. In: *44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT)*. Rostock : VDE - Proceedings, 2010

## Fachzeitschriften:

- [26] Spittler, T. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Smartphone-Schnittstellen für telemedizinische Anwendungen. In: *ntz - Fachzeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik* (2011), Nr. 1, S. 38–41

# Abbildungsverzeichnis

1.1.	Krankenhausfallzahlen innerhalb der OECD 2009 [10] 1: Gesunde Neugeborene werden ausgeschlossen (zwischen 3-6 % aller Entlassungen) 2: Beinhaltet Entlassungen am selben Tag . . . . .	11
1.2.	Anteil der Einwohner Deutschlands, die zum jeweiligen Jahresende 60 Jahre oder älter sind . . . . .	13
1.3.	COMES® Plattform zur telemedizinischen Übertragung, nach [18] . . . . .	15
2.1.	Umsatzentwicklung auf dem EU-Gesundheitsmarkt in den Jahren von 2006 bis 2014 (in Milliarden Euro) [20] . . . . .	17
2.2.	Wettbewerber im Bereich Telemedizin, dargestellt in einer multidimensionalen Skalierung, aktualisiert nach [21] . . . . .	18
2.3.	Schematischer Aufbau des telemedizinischen Mitbetreuungssystems im Projekt Partnership for the Heart [23] . . . . .	21
2.4.	Das Dienstleistungsangebot der Firma Medgate [26] . . . . .	23
2.5.	Der Prozessablauf der Telekonsultation bei der Firma Medgate [26] . . . . .	24
2.6.	Schematischer Aufbau des telemedizinischen Serviceangebotes der SHL Telemedizin GmbH [29] . . . . .	25
3.1.	Prinzip eines Datenbanksystem, entnommen aus [41] . . . . .	29
3.2.	Vereinfachte Architektur eines Datenbankmanagementsystems, entnommen aus [41] . . . . .	35
3.3.	Graphische Darstellung von Beziehungstypen mit Attribute, entlehnt aus [41] . . . . .	39
3.4.	Verwendete Notation für Kardinalität . . . . .	39
3.5.	Hierarchisches Datenmodell . . . . .	40
3.6.	Ausprägung eines Netzwerkmodells . . . . .	41
3.7.	Ausprägung eines Netzwerkmodells . . . . .	42
3.8.	Veranschaulichung der Begriffe Relationenschema und Relation . . . . .	43
3.9.	Konzeptuelles, vereinfachtes Schema eines telemedizinischen Assistenzsystems . . . . .	44
3.10.	Ausschnitt des ER-Modells . . . . .	51
3.11.	Veranschaulichung einer graphenorientierten Datenbank, angelehnt an [54] . . . . .	57
4.1.	KDD Prozess nach Fayyad [70] . . . . .	67
4.2.	Vereinfachte Struktur der Signalflüsse in der Entwurfsphase eines medizinischen Data Mining-Verfahrens angelehnt an [73] . . . . .	68
4.3.	Einteilung der Problemstellungen für Data Mining Verfahren angelehnt an [73] . . . . .	69
4.4.	Darstellung eines OLAP-Würfels anhand der Achsen Diagnose, Therapie und Zeit . . . . .	78

## Abbildungsverzeichnis

5.1. Aufbau der COMES <sup>®</sup> -Plattform, nach [18]	86
5.2. COMES <sup>®</sup> -Architektur	88
5.3. Schnittstellen der COMES <sup>®</sup> -Plattform	90
5.4. Verkaufszahlen Smartphone-Betriebssysteme in Deutschland von Mai bis Juli 2013 [87]	91
5.5. Evaluationskriterien für Smartphone-Betriebssysteme, angelehnt an [88]	92
5.6. Darstellung des GSM-Netzes, entnommen aus [118].	100
5.7. Netzabdeckung mit 3G der Telekom Deutschland GmbH für Bayern (pink = Netzabdeckung vorhanden) [120].	102
5.8. Darstellung zur Erklärung der Abbildungen für die Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank	104
5.9. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank für die Nutzerverwaltung	105
5.10. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank für die Geräteverwaltung	106
5.11. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank zum Hinterlegen von Messwerten des Patienten	106
5.12. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank zum Erstellen und Verwalten von Nachrichten	107
5.13. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank zum Erstellen und Verwalten von Umfragen	108
5.14. Tabellen der COMES <sup>®</sup> -Datenbank als Hilfstabellen für Data Mining	109
5.15. Grundaufbau eines HTML-Quellcodes [128]	110
5.16. Formatierung einer Webseite über eine CSS-Datei [131]	111
5.17. Funktionsweise von PHP, schematisch dargestellt [134]	112
5.18. DOM-Funktionen am Beispiel der Verwandtschaftsverhältnisse [137]	113
5.19. AJAX: asynchrone Datenübertragung [139]	114
5.20. MVC-System als schematisches Modell [141]	114
5.21. Interaktion der verschiedenen Zend Framework-Klassen in einer MVC-Applikation, entnommen aus [140]	115
5.22. Die SOAP-Nachrichtenstruktur, entnommen aus [142]	117
5.23. Hauptseite der COMES <sup>®</sup> -Organisationsverwaltung	128
5.24. Detailansicht einer Organisation innerhalb der COMES <sup>®</sup> -Organisationsverwaltung	129
5.25. Detailansicht eines Benutzers zur Änderung der Rechte innerhalb der COMES <sup>®</sup> -Benutzerverwaltung	131
5.26. Ansicht aller Geräte, die in einem Messkit waren bzw. sind.	132
5.27. Auswahl der Antwortart im Modul Umfragen.	134
5.28. Darstellung der Nachrichten innerhalb des Dashboards.	136
5.29. Ansicht des COMES <sup>®</sup> -Dashboards aus Sicht des Benutzers Arzt.	138
5.30. Ansicht der Patientenmesswerte.	139
5.31. Ansicht des COMES <sup>®</sup> -Reports für den systolischen Blutdruck im Bereich von 140mmHg bis 150mmHg für fünf aufeinanderfolgende Messungen.	141
5.32. Systematische Darstellung für automatisch generierte Empfehlungen.	142
5.33. Ansicht automatisch von COMES <sup>®</sup> generierter Empfehlungen zur Bewegungsintensität.	143
5.34. Anforderungen an das COMES <sup>®</sup> -Diabetesmanagementtool	144
5.35. Konzeption zur Auswahl des Bolus Insulins	145

## Abbildungsverzeichnis

5.36. Konzeption der Seite zur Eintragung von Daten, wie Sport oder Mahlzeiten, für das COMES <sup>®</sup> -Diabetesmanagementtool. . . . .	146
5.37. Ansicht des Tagebuchs mit Blutzuckerwerten im Modul Diabetesmanagement.	146
5.38. Schematische Darstellung der COMES <sup>®</sup> -Smartphone-Applikation . . . . .	147
5.39. Schematische Darstellung der COMES <sup>®</sup> -Webseite für Smartphones und Tablets	148
5.40. Konzept der COMES <sup>®</sup> -Android-Applikation . . . . .	150
5.41. Ablauf beim Empfangen neuer Daten innerhalb der COMES <sup>®</sup> -Android-Applikation	152
5.42. Zusammenhang der wichtigsten Klassen innerhalb der COMES <sup>®</sup> -Android-Applikation . . . . .	153
5.43. Integration von Interventionsmanagementsystem und Feedbackmanagementsystem in COMES <sup>®</sup> . . . . .	162
5.44. Vereinfachte Darstellung des Signalfusses bei Grenzwertabweichungen im COMES <sup>®</sup> -Webservice . . . . .	164
5.45. Prozess der COMES <sup>®</sup> -Therapiebegleitung . . . . .	165
5.46. Darstellung der Schritte pro Tag über einen unterschiedlichen Zeitraum t (t = Anzahl der Tage bis zur Erreichung des Bewegungsziels nach der Eingewöhnungszeit von sieben Tagen) . . . . .	166
5.47. Darstellung der Schritte pro Tag bei unterschiedlichen Zielwerten über einen Zeitraum von 28 Tagen . . . . .	167
5.48. Veränderung der Zielvorgaben der körperlichen Aktivität anhand der gegangenen Schritte des Patienten . . . . .	168
5.49. Vereinfachte Darstellung des Prinzips zur Motivation des Interventionsmanagementsystem für COMES <sup>®</sup> . . . . .	169
5.50. Übersicht über die wichtigsten automatischen Identifikationssysteme [155] . .	171
5.51. Schematischer Aufbau eines RFID-Systems mit Lesegerät und Transponder nach [156] . . . . .	173
6.1. Schematische Darstellung des Tests zur Überprüfung der Bluetooth-Kommunikation mit verschiedenen mobilen Endgeräten und Android-Versionen . . . . .	178
6.2. Schematische Darstellung des Programmablaufs des Java Codes für den Tests zur Überprüfung der Bluetooth-Kommunikation mit verschiedenen mobilen Endgeräten und Android-Versionen . . . . .	179
6.3. Anzahl der nicht übertragenen Bluetooth-Datensätze ausgehend von 1460 Messungen im Rahmen des Tests zur Bluetooth-Datenkommunikation mit der COMES <sup>®</sup> -Android-Applikation . . . . .	180
6.4. Auswertung des Tests zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Bluetooth-Datenübertragung auf Grundlage verschiedener medizinischer Geräte, Smartphones und Android-Versionen . . . . .	182
6.5. Bewertung des COMES <sup>®</sup> -Webfrontend für mobile Endgeräte hinsichtlich Inhalt	184
6.6. Bewertung des COMES <sup>®</sup> -Webfrontend für mobile Endgeräte hinsichtlich Handhabung . . . . .	184
6.7. Grafische Darstellung des Ergebnis des Benutzertests bzgl. des Diabetesmanagement-Moduls mit einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 „die Aussage trifft gar nicht zu“ und 5 „die Aussage trifft völlig“ entspricht. . . . .	185

## Abbildungsverzeichnis

6.8.	Weka-Ergebnis nach 10-fach Kreuzvalidierung zur Erstellung eines Random Tree für die Vorhersage einer Komorbidität von Diabetes und depressiver Symptome bei Patienten mit Diabetes Typ 2 . . . . .	190
6.9.	Ausschnitt des mit Weka erstellten Entscheidungsbaums für die Vorhersage einer Komorbidität von Diabetes und depressiver Symptome bei Patienten mit Diabetes Typ 2 . . . . .	190
6.10.	Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 3 im Feldtest Bewegung mit Personen mittleren Alters . . . . .	193
6.11.	Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Übergewichtigen . . . . .	193
6.12.	Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Hypertoniker . . . . .	194
6.13.	Anzahl der gegangenen Schritte in Woche 1 und Woche 2 im Feldtest Bewegung mit Studenten . . . . .	195
7.1.	Darstellung von Software und Hardware-Komponenten für die Bluetooth-Datenkommunikation sowie der Einwirkungsmöglichkeiten . . . . .	200
7.2.	Umsetzung des im Projekt KOMPASS entworfenen telemedizinischen Endgerätes [21] . . . . .	202
7.3.	Darstellung der Möglichkeiten verschiedener Telemedizinanbieter anhand der Kriterien Sensorik, Mobilität, Handhabung, Daten-Analyse-Algorithmen und Integration externer medizinischer Dienstleistungen . . . . .	204
7.4.	Konzeptionelles Modell des TMSMM [177] . . . . .	210
7.5.	Auflistung der drei Elemente, die im Modell MAST erforderlich sind [179] . . . . .	212
8.1.	Evolution der Elektronikentwicklung am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik von Zahnschiene über Implantat bis hin zu einem modernen Ringdesign . . . . .	220
A.1.	COMES <sup>®</sup> -Datenbankstruktur . . . . .	224

# Tabellenverzeichnis

1.1. Gesundheitsausgaben nach Ausgabenträgern 2009 [5] . . . . .	9
2.1. Anzahl der Studien gemäß bestimmter Betrachtungsmerkmale, ins Deutsche übersetzt nach [22] . . . . .	20
3.1. Beispieltabelle für die Unterscheidung von zeilen- und spaltenorientierten Datenbanksystemen . . . . .	56
3.2. Überblick über verschiedene NoSQL-Datenbanken aus [55] . . . . .	59
3.3. Gegenüberstellung der vier gängigen Datenbank-Modelle . . . . .	60
4.1. Kurzbeschreibung ausgewählter medizinischer Problemstellungen für Data Mining Verfahren, Abkürzungen: Regression R, Klassifikation K, Fuzzy-Klassifikation F-K, Clustering C, Fuzzy-Clustering F-C, univariate uM und multivariate mM Merkmalsbewertung . . . . .	73
4.2. Beispiel einer Transaktionsdatenbank zur Verdeutlichung der Assoziationsanalyse	77
5.1. Auflistung der an COMES <sup>®</sup> angebundenen Sensoren . . . . .	89
5.2. Erfüllung der telemedizinischen Anforderungen an ein Smartphone . . . . .	96
5.3. Gegenüberstellung verschiedener Funkstandards . . . . .	99
5.4. Derzeit verfügbare SOAP-Datenformate zur Datenübertragung an das COMES <sup>®</sup> -Center . . . . .	124
5.5. Benutzerrechte innerhalb der COMES <sup>®</sup> -Benutzerverwaltung . . . . .	130
5.6. Vergleich ausgewählter Auto-ID Systeme nach Einfachheit, intuitive Bedienung, schnelle Bearbeitung, Zuverlässigkeit und Preis (++: sehr gut, +: gut, o: befriedigend, -: ausreichend, -: mangelhaft) . . . . .	176
6.1. Auflistung über die untersuchten Patienten innerhalb der beiden deutschen Meta-Studien [159], [164] und der Prävalenz der betrachteten Kriterien, die die Komorbidität von Diabetes und depressiven Symptomen betreffen (MDD: major depressive disorder) . . . . .	188
7.1. Das „Layered Telemedicine Implementation Model“ nach Broens [176], das die Beziehung zwischen der Implementierungsschicht und seiner zugehörigen Bestimmungsgrößen wiedergibt. . . . .	208

# Literatur

- [1] WHO: *Definition of Health*. <https://apps.who.int/aboutwho/en/definition.html>, März 2012. – eigene Übersetzung
- [2] Bergdolt, K. : *Der Traum von der Gesundheit*. Vortrag Seniorenstudium, Juni 2008
- [3] Halter, H. : Körper, was willst du? spiegel online, September 1999
- [4] *Tätigkeitsbericht 2007 der Bundesärztekammer*. [http://www.bundesaerztekammer.de/downloads/Taetigkeit2007\\_13.pdf](http://www.bundesaerztekammer.de/downloads/Taetigkeit2007_13.pdf), 2008. – 439 S.
- [5] Bundesamt, S. : *Gesundheitsausgaben*. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Gesundheitsausgaben/Tabellen/Ausgabentraeger.html?nn=50792>, März 2012
- [6] Müller, M. ; Böhm, K. : Ausgaben und Finanzierung des Gesundheitswesens. In: *Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. Robert Koch-Institut, 2009 (45)
- [7] E., P. M. ; Clemens, G. : *Chancen für das deutsche Gesundheitssystem*. Berlin Heidelberg : Springer/Gabler, 2012
- [8] Stiftung, B. : *Umfrage: Bevölkerung blickt skeptisch in die Zukunft des deutschen Gesundheitswesens*. [http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xchg/SID-0A%20000F0A-901828F1/bst/hs.xsl/nachrichten\\_49283.htm](http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xchg/SID-0A%20000F0A-901828F1/bst/hs.xsl/nachrichten_49283.htm), Februar 2007
- [9] Grobe, T. : Behandeln im Akkord. In: *Deutsches Ärzteblatt* 107 (2010), Nr. 4, S. 147
- [10] OECD: *Health at a Glance 2011*. (2011)
- [11] Adler, G. ; Knesebeck, J.-H. v. d.: Ärztemangel und Ärztebedarf in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt* 54 (2011), S. 228–237
- [12] Kopetsch, T. : Ärztemangel trotz steigender Arztzahlen–ein Widerspruch, der keiner ist. In: *Analyse zur Ärztestatistik der Bundesärztekammer* (2008), S. 1–17
- [13] Pressemitteilung: Viele Niedergelassene finden keinen Praxisnachfolger. In: *Kassenärztliche Bundesvereinigung* (2011)
- [14] EB: Umfrage: IT im Gesundheitswesen: Chancen nutzen. In: *Deutsches Ärzteblatt* 109 (2012), Nr. 3, S. 119
- [15] Dierks, C. ; Feussner, H. ; Wienke, A. : *Rechtsfragen der Telemedizin*. Berlin Heidelberg New York : Springer, 2001

## Literatur

- [16] Wolf, B. : Mobilfunk-gestützte medizinische Wissensbasis mit sensorisch interaktiven Mobiltelefonen. In: *Biomedizinische Technik, health technologies* 2 (2005), S. 156 – 158
- [17] Wolf, B. : Einrichtung zur Früherkennung von kritischen Gesundheitszuständen, insbesondere bei Risikopatienten. In: *Offenlegungsschrift DE 100 06 598 A 1*, DPMA, 2001
- [18] Spittler, T. ; Handwerker, M. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Early Recognition of Depression at Diabetes Mellitus with the Cognitive Medical System COMES®. In: *IADIS WWW/Internet 2011*. Rio de Janeiro, Brasilien, 2011
- [19] Merkel, A. : *Regierungserklärung*. <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Regierungserklaerung/2014/2014-01-29-bt-merkel.html>, 2014
- [20] Statista GmbH ; Statista GmbH (Hrsg.): *Umsatzentwicklung auf dem EU-Gesundheitsmarkt in den Jahren von 2006 bis 2014 (in Milliarden Euro)*. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/183322/umfrage/gesundheitsmarkt-umsatzentwicklung-in-der-eu-seit-2006/>, 2011
- [21] Wolf, B. ; Gausemeier, J. ; Friedrich, P. ; Clauss, J. ; Lehner, M. ; Lehner, A. ; Placzek, M. ; Schierbaum, T. ; Herzog, K. ; Spittler, T. : *Telemedizinische Assistenzsysteme – Markt, Geschäftsmodelle und Technik*. München, Paderborn, 2014. – unveröffentlicht
- [22] Delli Fraine, J. L. ; Dansky, K. H.: Home-based telehealth: a review and meta-analysis. In: *Journal of Telemedicine and Telecare* 14 (2008), S. 62–66
- [23] Köhler, F. ; Prescher, S. ; Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): *Partnership for the Heart: Good Practice: Innovation im Gesundheitswesen: Telemedizin auf Rezept?* 2012
- [24] Koehler, F. ; Winkler, S. ; Schieber, M. ; Sechtem, U. ; Stangl, K. ; Böhm, M. ; Boll, H. ; Baumann, G. ; Honold, M. ; Koehler, K. : Impact of Remote Telemedical Management on Mortality and Hospitalizations in Ambulatory Patients With Chronic Heart Failure Clinical Perspective The Telemedical Interventional Monitoring in Heart Failure Study. In: *Circulation Journal* 123 (2011), Nr. 17, S. 1873–1880
- [25] Koehler, F. ; Winkler, S. ; Schieber, M. ; Sechtem, U. ; Stangl, K. ; Böhm, M. ; Brouwer, S. de ; Perrin, E. ; Baumann, G. ; Gelbrich, G. : Telemedicine in heart failure: Pre-specified and exploratory subgroup analyses from the TIM-HF trial. In: *International journal of cardiology* 161 (2012), Nr. 3, S. 143–150
- [26] Friedrich, P. : *Etablierung einer telemedizinisch gestützten bioakustischen Hypertonie-Therapie mittels Virtual Lab*. München, Technische Universität München, Diss., 14.01.2010
- [27] Medgate ; Medgate (Hrsg.): *Medgate Dienstleistungen*. <http://www.medgate.ch/de-ch/services.aspx#86441-telekonsultationen>, 2013

## Literatur

- [28] SHL Telemedizin GmbH ; SHL Telemedizin GmbH (Hrsg.): *SHL Telemedicine*. <http://www.shl-telemedicine.de>, 2009
- [29] SHL Telemedizin GmbH ; SHL Telemedizin GmbH (Hrsg.): *Telemedizin*. <http://www.shl-telemedicine.de/index.php/?page=telemedizin/>, 2009
- [30] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Datenbank*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55473/datenbank-v8.html>, 2013
- [31] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Informationsgesellschaft*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/71546/informationsgesellschaft-v6.html>, 2013
- [32] Rekow, H. : *Einführung in das Data Mining*. GRIN Verlag, 2013
- [33] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Relationenmodell*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55871/relationenmodell-v8.html>, 2013
- [34] Kießling, W. ; Köstler, G. : *Multimedia-Kurs Datenbanksysteme*. Berlin Heidelberg : Springer, Berlin, 1998. – ISBN 3-540-63836-9
- [35] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITwissen.info: Stichwort: Objektorientierte Datenbank*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Objektorientierte-Datenbank-ODB-object-oriented-database.html>, 2013
- [36] Schönwälder, H. U.: *Anforderungen an eine klinische Datenbank beim Harnblasenkarzinom: Datenbanktheorie und Auswahl der Parameter*. München, Technische Universität München, Diss., 26.10.2011
- [37] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITwissen.info: Stichwort: Wissensbasiertes System*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Wissensbasiertes-System-knowledge-based-system-KBS.html>, 2013
- [38] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITwissen.info: Stichwort: Expertensystem*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Expertensystem-XPG-expert-system.html>, 2013
- [39] Kudraß, T. : *Taschenbuch Datenbanken*. München : Carl Hanser Verlag, 2007. – ISBN 978-3-446-40944-6
- [40] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gablers Wirtschaftslexikon: Stichwort: Datenbankmanagementsystem (DBMS)*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/74907/datenbankmanagementsystem-dbms-v7.html>, 2013

## Literatur

- [41] Saake, G. ; Sattler, K.-U. ; Heuer, A. : *Datenbanken: Konzepte und Sprachen*. 5. Auflage. Heidelberg and München and Landsberg and Frechen and Hamburg : mitp, 2013. – ISBN 978-3-8266-9453-0
- [42] Kemper, A. ; Eickler, A. : *Datenbanksysteme: Eine Einführung*. München : Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2009. – ISBN 978-3-486-59018-0
- [43] Codd, E. F.: Relational database: a practical foundation for productivity. In: *Communications of the ACM* 25 (1982), Nr. 2, S. 109–117
- [44] Fernuniversität in Hagen ; Fernuniversität in Hagen Lehrgebiet Datenbanksysteme für neue Anwendungen (Hrsg.): *Architektur eines Datenbanksystems: Kapitel 1*. <http://dna.fernuni-hagen.de/Lehre-offen/Kurse/1664/1664kapitel1.pdf>, 2007
- [45] Meier, A. : *Relationale Datenbanken: Leitfaden für die Praxis*. 5. Auflage. Berlin Heidelberg : Springer, Berlin, 2004. – ISBN 3-540-00905-1
- [46] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT-wissen.info: Stichwort: Konsistenz*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Konsistenz-consistance.html>, 2013
- [47] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Datenmodell*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/74962/datenmodell-v7.html>, 2013
- [48] Fachhochschule Köln ; Fachhochschule Köln (Hrsg.): *Datenbanken Online Lexikon: Stichwort: Hierarchisches Datenmodell*. [http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki\\_db/Datenbanken/Datenmodell,Hierarchisches-Datenmodell](http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki_db/Datenbanken/Datenmodell,Hierarchisches-Datenmodell), 2013
- [49] Fachhochschule Köln ; Fachhochschule Köln (Hrsg.): *Datenbanken Online Lexikon: Stichwort: Netzwerkdatenmodell*. [http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki\\_db/Datenbanken/Datenmodell,Netzwerkdatenmodell](http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki_db/Datenbanken/Datenmodell,Netzwerkdatenmodell), 2013
- [50] Vornberger, O. ; Müller, O. ; Praktische Informatik Fachbereich Mathematik / Informatik Universität Osnabrück (Hrsg.): *Datenbanksysteme: Vorlesung im SS 2001*. <http://www-lehre.inf.uos.de/~dbs/2001/skript/skript.html>, 2001
- [51] Begerow, M. : *Datenbanken verstehen: Stichwort: Objektorientiertes Datenbankmodell*. <http://www.datenbanken-verstehen.de/datenbank-grundlagen/objektorientiertes-datenbankmodell.php>, 2013
- [52] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITwissen.info: Stichwort: Objektrelationale Datenbank*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Objektrelationale-Datenbank-object-relational-database.html>, 2013

## Literatur

- [53] Fachhochschule Köln ; Fachhochschule Köln (Hrsg.): *Datenbanken Online Lexikon: Stichwort: Typkonstruktor*. [http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki\\_db/Datenbanken/Typkonstruktor](http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki_db/Datenbanken/Typkonstruktor), 2013
- [54] Eifrem, E. ; Rathle, P. ; Neo Technology Inc. (Hrsg.): *Warum der wichtigste Teil von Facebook Graph Search das Wörtchen "Graph" ist*. <http://www.neotechnology.com/warum-der-wichtigste-teil-von-facebook-graph-search-das-wortchen-\T1\quotedblbasegraph-ist/>, 2013
- [55] Gull, C. : *Web-Applikationen entwickeln mit NoSQL*. München : Franzis Verlag, 2011. – ISBN 978-3-645-60104-7
- [56] Strozzi, C. : *NoSQL: a non-SQL RDBMS*. [http://www.strozzi.it/cgi-bin/CSA/tw7/I/en\\_US/NoSQL/Home%20Page](http://www.strozzi.it/cgi-bin/CSA/tw7/I/en_US/NoSQL/Home%20Page), 2009
- [57] Walker-Morgan, D. ; heise Open Source (Hrsg.): *NoSQL im Überblick*. <http://www.heise.de/open/artikel/NoSQL-im-Ueberblick-1012483.html>, 2010
- [58] Ngoc Ha, T. : *Charakteristika und Vergleich von SQL- und NoSQL-Datenbanken*. [http://dbs.uni-leipzig.de/file/seminar\\_1112\\_tran\\_ausarbeitung.pdf](http://dbs.uni-leipzig.de/file/seminar_1112_tran_ausarbeitung.pdf), 2011
- [59] Daconta, M. C. ; Obrst, L. J. ; Smith, K. T. ; Elliot, R. M. (Hrsg.): *The Semantic Web*. Wilkert Joe, 2003
- [60] Universitätsspital Zürich, H.-Z. des: *evimed*. <http://www.evimed.ch/>, Dezember 2014
- [61] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Datenanalyse*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1823/datenanalyse-v11.html>, 2013
- [62] Schlittgen, R. ; Streitberg, B. : *Zeitreihenanalyse*. 9. München : Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2001. – ISBN 3-486-25725-0
- [63] Degen, H. ; Lorscheid, P. : *Statistik-Lehrbuch: Methoden der Statistik im wirtschaftswissenschaftlichen Bachelor-Studium*. 4. Auflage. München : Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2012. – ISBN 978-3-486-71420-3
- [64] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Trend*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/57588/trend-v11.html>, 2013
- [65] Zwerenz, K. : *Statistik: Einführung in die computergestützte Datenanalyse*. 4. München : Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2009. – ISBN 978-3-486-59112-5
- [66] Steven, M. : *BWL für Ingenieure*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2011. – ISBN 9783486706864

- [67] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT-wissen.info: Stichwort: Data Mining*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Data-Mining-data-mining.html>, 2013
- [68] Hippner, H. (Hrsg.) ; Küsters, U. (Hrsg.) ; Meyer, M. (Hrsg.) ; Wilde, K. (Hrsg.): *Handbuch Data Mining im Marketing: Knowledge Discovery in Marketing Databases*. 1. Braunschweig and Wiesbaden : Vieweg, 2001
- [69] Hagedorn, J. ; Bissantz, N. ; Mertens, P. : : Data Mining (Datenmustererkennung): Stand der Forschung und Entwicklung. In: *Wirtschaftsinformatik* (1997), Nr. 39, S. 601–612
- [70] Fayyad, U. M.: Data mining and knowledge discovery: making sense out of data. In: *IEEE Expert* 11 (1996), Nr. 5, S. 20–25
- [71] Box, G. E. P. ; Jenkins, G. M.: *Time series analysis: Forecasting and control*. San Francisco, 1970 (Holden-Day series in time series analysis)
- [72] Maimon, O. (Hrsg.) ; Rokach, L. (Hrsg.): *The Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. New York and NY : Springer, New York, 2005
- [73] Mikut, R. (Hrsg.): *Data Mining in der Medizin und Medizintechnik*. Bd. 22. Universitätsverlag Karlsruhe, 2008
- [74] Mikut, R. ; Reischl, M. ; Burmeister, O. ; Loose, T. : Data mining in medical time series. In: *Biomedizinische Technik* 51 (2006), Nr. 5-6, S. 288–293. – ISSN 0013–5585
- [75] Augusto, J. C.: Temporal reasoning for decision support in medicine. In: *Artificial intelligence in medicine* 33 (2005), Nr. 1, S. 1–24. – ISSN 0933–3657
- [76] DocCheck Medical Services GmbH ; DocCheck Medical Services GmbH (Hrsg.): *Doc-Check Flexikon: Stichwort: Differentialdiagnose*. <http://flexikon.doccheck.com/de/Differentialdiagnose>, 2013
- [77] Runkler, T. A.: *Data Mining: Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse*. 1. Auflage. Wiesbaden : Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH, 2010
- [78] Loss, D. : Data Mining: Klassifikations- und Clusteringverfahren. In: *Ausarbeitung im Rahmen des Projektseminars "CRM für Finanzdienstleister"*, S. 7–14
- [79] Hipp, J. : *Wissensentdeckung in Datenbanken mit Assoziationsregeln*. Tübingen, Eberhard-Karls-Universität, Diss., 2003
- [80] Ruoss, M. : *Ermittlung charakteristischer Datensätze durch Data Mining*. Zürich, Universität Zürich, Diss., 2006
- [81] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITwissen.info: Stichwort: OLAP (online analytical processing)*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/online-analytical-processing-OLAP.html>, 2014

## Literatur

- [82] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT-wissen.info: Stichwort: OLAP-Würfel*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/OLAP-Wuerfel-OLAP-cube.html>, 2014
- [83] Weiß, C. : *Basiswissen Medizinische Statistik*. 5. Auflage. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2010. – ISBN 978-3-642-11336-9
- [84] Wolf, B. ; Spittler, T. ; Clauss, J. ; Scholz, A. ; Friedrich, P. ; Herzog, K. : COMES® - Cognitive Medizinische Systeme für Diagnose und Therapie. In: Duesberg, F. (Hrsg.): *e-Health 2014*, S. 254–262
- [85] Statista GmbH ; Statista GmbH (Hrsg.): *Anteil der Smartphone-Nutzer an allen Mobiltelefonbesitzern in Deutschland von Januar 2010 bis Juli 2013*. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/237079/umfrage/anteil-der-smartphone-nutzer-an-allen-mobilfunknutzern-in-deutschland/>, 2014. – Stand: 24.01.2014
- [86] Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik ; Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (Hrsg.): *Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX): Januar 2013 - September 2013*. [http://www.gfu.de/srv/easyedit/\\_ts\\_1385121268000/page:home/marktzahlen/markt/sl\\_1385114957408/args.link01/de\\_CEMIX\\_Q1-Q3\\_2013.pdf](http://www.gfu.de/srv/easyedit/_ts_1385121268000/page:home/marktzahlen/markt/sl_1385114957408/args.link01/de_CEMIX_Q1-Q3_2013.pdf), 2014. – Stand: 24.01.2014
- [87] internet world business ; internet world business (Hrsg.): *Android dominiert Europa: Marktanteile der Betriebssysteme bei neu verkauften Smartphones*. <http://www.internetworld.de/Nachrichten/Mobile/Mobile-Devices/Marktanteile-der-Betriebssysteme-bei-neu-verkauften-Smartphones-Android-dominiert-die-grossen-Maerkte-79204.html>, 2013. – Stand: 24.01.2014
- [88] Spittler, T. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Smartphone-Schnittstellen für telemedizinische Anwendungen. In: *ntz - Fachzeitschrift für Informations- und Kommunikationstechnik* (2011), Nr. 1, S. 38–41
- [89] Open Handset Alliance ; Open Handset Alliance (Hrsg.): *Open Handset Alliance*. <http://www.openhandsetalliance.com/index.html>, 2014. – Stand: 26.01.2014
- [90] Google Inc. ; Google Inc. (Hrsg.): *Android NDK*. <http://developer.android.com/tools/sdk/ndk/index.html>, 2014. – Stand: 26.01.2014
- [91] Google Inc. ; Google Inc. (Hrsg.): *Developers*. <http://developer.android.com/index.html>, 2014. – Stand: 26.01.2014
- [92] Apple Inc. ; Apple Inc. (Hrsg.): *Develop Apps for iOS*. <https://developer.apple.com/technologies/ios/>, 2014. – Stand: 26.01.2014

- [93] Apple Inc. ; Apple Inc. (Hrsg.): *Apple Support*. <http://www.apple.com/de/support/>, 2014. – Stand: 26.01.2014
- [94] Nokia ; Nokia (Hrsg.): *Introduction to Bluetooth support on Windows Phone 8*. [http://developer.nokia.com/community/wiki/Introduction\\_to\\_Bluetooth\\_support\\_on\\_Windows\\_Phone\\_8](http://developer.nokia.com/community/wiki/Introduction_to_Bluetooth_support_on_Windows_Phone_8), 2014. – Stand: 27.01.2014
- [95] Microsoft Corp. ; Microsoft Corp. (Hrsg.): *Windows Phone: dein Weg zur eigenen App*. <http://www.microsoft.com/germany/msdn/academic/windows-phone/default.aspx>, 2014. – Stand: 27.01.2014
- [96] Microsoft Corp. ; Microsoft Corp. (Hrsg.): *Windows Phone: Dev Center*. <http://developer.windowsphone.com/en-us>, 2014. – Stand: 27.01.2014
- [97] BlackBerry ; BlackBerry (Hrsg.): *BlackBerry 10 OS*. <http://de.blackberry.com/software/smartphones/blackberry-10-os.html?LP0S=de:bb:software>, 2014. – Stand: 27.01.2014
- [98] Wahoo Fitness ; Wahoo Fitness (Hrsg.): *Wahoo Key*. <http://eu.wahoofitness.com/wahoo-key.html>, 2014. – Stand: 28.01.2014
- [99] Hellmann, W. ; Chip online (Hrsg.): *Dauersurfen auf der WWW-Welle*. [http://www.chip.de/artikel/Handy-mit-langer-Online-Akkulaufzeit-30-Smartphones-fuer-viel-Surf-Spass\\_59763275.html](http://www.chip.de/artikel/Handy-mit-langer-Online-Akkulaufzeit-30-Smartphones-fuer-viel-Surf-Spass_59763275.html), 2013. – Stand: 28.01.2014
- [100] Huch, M. ; Computer Bild (Hrsg.): *Die Smartphones und Handys mit der besten Akkulaufzeit*. <http://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Handy-Smartphones-Dauerlaeufer-Akkulaufzeit-Standby-5643959.html>, 2013. – Stand: 28.01.2014
- [101] USB Implementers Forum, Inc. ; USB Implementers Forum, Inc. (Hrsg.): *Universal Serial Bus*. <http://www.usb.org/home>, 2014. – Stand: 28.01.2014
- [102] Peacock, C. : *USB in a NutShell: Making sense of the USB standard*. <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.shtml>, 2010. – Stand: 29.01.2014
- [103] Schnabel, P. ; Elektronik-Kompodium (Hrsg.): *Elektronik Kompodium: Stichwort: Bluetooth 1.0 / 1.1 / 1.2 (IEEE 802.15)*. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0803301.htm>, 2013. – Stand: 29.01.2014
- [104] Schnabel, P. ; Elektronik-Kompodium (Hrsg.): *Elektronik Kompodium: Stichwort: Bluetooth 2.0 / 2.1*. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1010121.htm>, 2013. – Stand: 29.01.2014
- [105] Schnabel, P. ; Elektronik-Kompodium (Hrsg.): *Elektronik Kompodium: Stichwort: Bluetooth 3.0+HS*. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1405151.htm>, 2013. – Stand: 29.01.2014

## Literatur

- [106] Bluetooth SIG, I. ; Bluetooth SIG, I. (Hrsg.): *Bluetooth Special Interest Group*. <https://www.bluetooth.org/en-us>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [107] Bluetooth SIG, I. ; Bluetooth SIG, I. (Hrsg.): *Bluetooth*. <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [108] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITWissen.info: Stichwort: Bluetooth-Low-Energy*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Bluetooth-LE-Bluetooth-low-energy.html>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [109] Schnabel, P. : *Elektronik Kompendium: Stichwort: Bluetooth 4.0 (Ultra-Low-Power-Bluetooth)*. <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1805171.htm>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [110] Heydon, R. ; Hunn, N. ; csr (Hrsg.): *Bluetooth low energy*. [https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc\\_id=227336](https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=227336), 2010. – Stand: 29.01.2014
- [111] Villegas, J. : *Bluetooth Low Energy Version 4.0*. [http://home.eng.iastate.edu/~gamari/CprE537\\_S13/project%20reports/Bluetooth%20LE.pdf](http://home.eng.iastate.edu/~gamari/CprE537_S13/project%20reports/Bluetooth%20LE.pdf), 2013. – Stand: 29.01.2014
- [112] Forum, N. ; Forum, N. (Hrsg.): *NFC Forum*. <http://nfc-forum.org>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [113] Schnabel, P. ; Elektronik-Kompendium (Hrsg.): *Elektronik Kompendium: Stichwort: NFC - Near Field Communication*. <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1107181.htm>, 2013. – Stand: 29.01.2014
- [114] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT Wissen: Stichwort: ANT+*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/ANT-plus-ANT-plus.html>, 2013. – Stand: 29.01.2014
- [115] Dynastream Innovations Inc. ; Dynastream Innovations Inc. (Hrsg.): *This is ANT*. <http://www.thisisant.com>, 2014. – Stand: 29.01.2014
- [116] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *ITWissen.info: Stichwort: WLAN*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/wireless-LAN-WLAN-Funk-LAN.html>, 2013. – Stand: 30.01.2014
- [117] Schnabel, P. : *Elektronik Kompendium: Stichwort: IEEE 802.11 / WLAN-Grundlagen*. <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0610051.htm>, 2014. – Stand: 30.01.2014
- [118] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik ; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hrsg.): *GSM-Mobilfunk: Gefährdungen und Sicherheitsmaßnahmen*. [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/GSM/gsm\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/GSM/gsm_pdf.pdf?__blob=publicationFile), 2008

- [119] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik ; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hrsg.): *Das Ende der Anonymität? Datenspuren in modernen Netzen: Stichwort: Kommunikation in GSM-Mobilfunknetzen*. <https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/Studien/anonym/kommunikationgsm.html>, 2001
- [120] Telekom Deutschland GmbH ; Telekom Deutschland GmbH (Hrsg.): *Netzausbau*. <http://www.t-mobile.de/netzausbau/0,25250,15400-,00.html>, 2014
- [121] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT Wissen.info: Stichwort: SOAP*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/simple-object-access-protocol-SOAP-SOAP-Protokoll.html>, 2013
- [122] World Wide Web Consortium ; World Wide Web Consortium (Hrsg.): *SOAP Version 1.2*. <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>, 2014
- [123] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Informationsgesellschaft*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/75428/client-server-architektur-v8.html>, 2014
- [124] DATACOM Buchverlag GmbH ; DATACOM Buchverlag GmbH (Hrsg.): *IT-wissen.info: Stichwort: Client-Server-Architektur*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Client-Server-Architektur-C-S-client-server-architecture.html>, 2014
- [125] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: Informationsgesellschaft*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/81383/firewall-v9.html>, 2014
- [126] Köhl, S. : *Konzeption und Realisierung einer Therapieführung am Beispiel der Hypertonie im Projekt COMES®*. München, Technische Universität München, Diplomarbeit, 30.11.2012
- [127] W3C ; W3C (Hrsg.): *XHTML2 Working Group*. <http://www.w3.org/MarkUp/>, 2013
- [128] Pratzner, A. : *Grundgerüst einer HTML-Seite - DOCTYPE-Definition*. <http://www.html-seminar.de/html-seitenaufbau.htm>, 2013
- [129] Weiss, A. : *HTML für Einsteiger: Ein Grundkurs für Anfänger*. Norderstedt : Books on Demand GmbH, 2011. – ISBN 9783842347694
- [130] Selfhtml e.V. ; Selfhtml e.V. (Hrsg.): *HTML*. <http://de.selfhtml.org/intro/technologien/html.htm>, 2013
- [131] Wilhelm, M. : *Barrierefreies Webdesign mit XHTML und CSS*. <http://www.mediendesign-wilhelm.de/webdesign/screendesign/website-erstellung/webdesign-leistungen.html>, 2013

- [132] Selfhtml e.V. ; Selfhtml e.V. (Hrsg.): *Stylesheets*. <http://de.selfhtml.org/intro/technologien/css.htm>, 2013
- [133] Sklar, D. ; Trachtenberg, A. : *PHP Kochbuch*. 3. Auflage. Köln : O'Reilly Verlag, 2009. – ISBN 978-3-89721-904-5
- [134] Prescher, J. : *Realisierung einer barrierefreien Internetpräsenz am Beispiel des Content-Management-Systems "Joomla! 1.5"*. GRIN-Verlag, 2011. – ISBN 978-3-640-93971-8
- [135] Pomaska, G. : *Webseiten-Programmierung: Sprachen - Werkzeuge - Entwicklung*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2012. – ISBN 978-3-8348-2485-1
- [136] W3C ; W3C (Hrsg.): *Document Object Model (DOM)*. <http://www.w3.org/DOM/>, 2014
- [137] Häbler, U. : *CSS, HTML und Javascript mit {stil}*. <http://www.mediaevent.de/javascript/DOM-Nodes.html>, Dezember 2012
- [138] McLaughlin, B. ; O'Reilly Media Inc. (Hrsg.): *Ajax meistern: Teil 1: Einführung in Ajax*. <http://www.oreilly.de/artikel/ajax1/index.html>, 2005
- [139] Steppan, B. ; IDG Business Media GmbH (Hrsg.): *Ajax verleiht Web-Anwendungen Flügel*. <http://www.cowo.de/a/573517>, 2006
- [140] Allen, R. ; Lo, N. ; Brown, S. : *Zend Framework: im Einsatz*. München : Carl Hanser Verlag, 2009. – ISBN 978-3-446-41576-8
- [141] Azad, K. : *Intermediate Rails: Understanding Models, Views and Controllers*. <http://betterexplained.com/articles/intermediate-rails-understanding-models-views-and-controllers/>, 2013
- [142] Snell, J. ; Tidwell, D. ; Kulchenko, P. : *Webservice-Programmierung mit SOAP*. 1. Köln : O'Reilly Verlag, 2002. – ISBN 978-3-89721-159-9
- [143] Newcomer, E. : *Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI*. Boston and MA : Addison-Wesley Professional, 2002
- [144] Burbiel, H. : *SOA & Webservices in der Praxis: Service Oriented Architecture mit XML, SOAP, .NET, Java & Co*. Poing : Franzis Verlag, 2007. – ISBN 978-3-7723-7627-6
- [145] Stumbaum, M. : *Konzeption und Realisierung eines neuen COMES®-Frontends auf Basis des Zend Frameworks*. München, Technische Universität München, Diplomarbeit, 30.09.2012
- [146] Highsoft AS: *Highcharts: JavaScript Charting Library*. <http://www.highcharts.com>, 2014

## Literatur

- [147] Weyand, P. ; Smith, B. ; Puyau, M. ; Butte, N. : The mass-specific energy cost of human walking is set by stature. In: *The Journal of Experimental Biology* 213 (2010), Nr. 23, S. 3972–3979
- [148] Horndasch, M. : *Konzeption und Realisierung eines Diabetesmanagementtools zur motivationsgestützten Steigerung der Lebensqualität im Projekt DiaManTUM*. München, Technische Universität München, Diplomarbeit, 30.07.2013
- [149] Handwerker, M. : *Evaluation, Integration und Test eines geeigneten Data Mining Algorithmus für COMES<sup>®</sup> auf Android Betriebssystem*. München, Technische Universität München, Diss., 30.04.2011
- [150] Schiedermeier, R. : *Programmieren mit Java*. Pearson Studium, 2005. – ISBN 9783827371164
- [151] Zhang, L. : *Erstellung einer Java Applikation eines BlackBerry Client für das Projekt COMES<sup>®</sup>*, Technische Universität München, Diplomarbeit, 2011
- [152] Moser, M. : *ksoap2-android*. <http://code.google.com/p/ksoap2-android/>, März 2011
- [153] Halle, M. : *Schritt für Schritt: endlich fit*. München : Mosaik, 2014
- [154] Becker, P. : *Software Entwicklung in C# und WPF zur automatischen Identifikation von medizintechnischen Geräten mit RFID*. München, Technische Universität München, Diplomarbeit, 01.08.2012
- [155] Finkenzeller, K. : *RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Hanser, 2008. – ISBN 9783446412002
- [156] Bartneck, N. ; Klaas, V. ; Schönherr, H. : *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID: Grundlagen, Problemlösungen und Anwendungsbeispiele*. Publicis Kommunikationsag, 2008. – ISBN 9783895783197
- [157] Kern, C. : *Anwendung von RFID-Systemen*. 2. Auflage. Springer, 2006 (VDI-Buch). – ISBN 9783540277255
- [158] Friedrich, P. : *COMES<sup>®</sup> Usability Untersuchung*. 2014. – unveröffentlicht
- [159] Pieper, L. : Longitudinale Assoziationen zwischen depressiven Symptomen und Typ-2-Diabetes sowie deren Auswirkung auf die Mortalität auf Hausarztpatienten. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 54 (2011), Nr. 1, S. 98–107
- [160] Carnethon, M. R. ; Kinder, L. S. ; Fair, J. M. ; Stafford, R. S. ; Fortmann, S. P.: Symptoms of Depression as a Risk Factor for Incident Diabetes: Finding from the National Health and Nutrition Examination Epidemiologic Follow-up Study, 1971-1992. In: *American Journal of Epidemiology* 158 (2003), S. 416–423. – ISSN 0002–9262

- [161] Arroyo, C. ; Hu, F. B. ; Ryan, L. M. ; Kawachi, I. ; Colditz, G. A. ; Speizer, F. E. ; Manson, J. : Depressive symptoms and risk of type 2 diabetes in women. In: *Diabetes Care* (2004), Nr. 27, S. 129–133
- [162] Golden, S. H. ; Lazo, M. ; Carnethon, M. ; Bertoni, A. G. ; Schreiner, P. J. ; Roux, A. V. D. ; Lyketsos, C. : Examining a bidirectional association between depressive symptoms and diabetes. In: *Jama* (2008), Nr. 299, S. 2751–2759
- [163] Peyrot, M. ; Rubin, R. R.: Levels and risks of depression and anxiety symptomatology among diabetic adults. In: *Diabetes Care* 20 (1997), Nr. 4, S. 585–590
- [164] Hermanns, N. ; Kulzer, B. ; Krichbaum, M. ; Kubiak, T. ; Haak, T. : Affective and anxiety disorders in a German sample of diabetic patients: prevalence, comorbidity and risk factors. In: *Diabet Med* (2005), Nr. 22, S. 293–300
- [165] Anderson, R. J. ; Freedland, K. E. ; Clouse, R. E. ; Lustman, P. J.: The prevalence of Comorbid Depression in adults with diabetes – a meta-analysis. In: *Diabetes Care* 24 (2001), Nr. 6, S. 1069–1078
- [166] Lustman, P. J.: Depression and poor glycemic control: a meta-analytic review of the literature. In: *Diabetes Care* 23 (2000), Nr. 7, S. 934–942
- [167] DiMatteo, M. R. ; Lepper, H. S. ; Croghan, T. W.: Depression is a risk factor for noncompliance with medical treatment: meta-analysis of the effects of anxiety and depression on patient adherence. In: *Archives of internal medicine* 160 (2000), Nr. 14, S. 2101–2107
- [168] G., K. H.: Depression in medically ill hospitalized older adults: prevalence characteristics, and course of symptoms according to six diagnostic schemes. In: *American Journal of Psychiatry* 154 (1997), Nr. 10, S. 1376–1383
- [169] Lustman, P. J. ; Harper, G. W.: Nonpsychiatric physicians' identification and treatment of depression in patients with diabetes. In: *Comprehensive psychiatry* 28 (1987), Nr. 1, S. 22–27
- [170] Katon, W. J. ; Lin, E. H. ; Russo, J. ; Von Korff, M. ; Ciechanowski, P. ; Simon, G. ; Ludman, E. ; Bush, T. ; Young, B. : Cardiac risk factors in patients with diabetes mellitus and major depression. In: *Journal of General Internal Medicine* 19 (2004), Nr. 12, S. 1192–1199. – ISSN 0884–8734
- [171] Katon, W. : The Comorbidity of Diabetes Mellitus and Depression. In: *The American journal of medicine* 121 (2008), Nr. 11, S. 8–15
- [172] Europäische Kommission eurostat ; Europäische Kommission eurostat (Hrsg.): *Personen, die das Internet zur Beschaffung von gesundheitsrelevanten Informationen genutzt haben: Code: tin00130*. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=tin00130&plugin=0>, 2013

- [173] FZI Forschungszentrum Informatik ; FZI Forschungszentrum Informatik (Hrsg.): *Living Lab AAL: Motivation und Ziele*. <http://aal.fzi.de/motivation>, 2014
- [174] Van Dyk, L. : A Review of Telehealth Service Implementation Frameworks. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11 (2014), S. 1279–1298
- [175] Yellowlees, P. M.: Successfully developing a telemedicine system. In: *Journal of Telemedicine and Telecare* 11 (2005), S. 331–335
- [176] Broens, T. ; Vollenbroek-Hutten, M. ; Hermens, H. ; Halteren, A. van ; Nieuwenhuis, L. : Determinants of successful telemedicine implementations: A literature study. In: *Journal of Telemedicine and Telecare* 13 (2007), S. 303–309
- [177] Dyk, L. van ; Schutte, C. ; InTech (Hrsg.): *The Telemedicine Service Maturity Model: A Framework for the Measurement and Improvement of Telemedicine Services*. <http://www.intechopen.com/books/telemedicine/the-telemedicine-service-maturity-model-a-framework-for-the-measurement-and-improvement-of-telemedic>, 2013
- [178] Hammerschmidt, R. ; Jones, T. ; empirica Gesellschaft für Kommunikations- und Technologieforschung mbH (Hrsg.): *Telemedicine assessment framework: ASSIST - Assessment and Evaluation Tools for Telemedicine: Executive introduction*. [http://www.assist-telemedicine.net/fileadmin/ASSIST/download/ASSIST\\_executive\\_introduction.pdf](http://www.assist-telemedicine.net/fileadmin/ASSIST/download/ASSIST_executive_introduction.pdf), 2012
- [179] Kidholm, K. ; Ekeland, A. G. ; Jensen, L. K. ; Rasmussen, J. ; Pedersen, C. D. ; Bowes, A. ; Flottorp, S. A. ; Bech, M. : A Model for Assessment of Telemedicine Applications: MAST. In: *International Journal of Technology Assessment in Health Care* 28 (2012), Nr. 01, S. 44–51. – ISSN 1471–6348
- [180] Reiter, B. ; Turek, J. ; Weidenfeld, W. : *Telemedizin - Zukunftsgut im Gesundheitswesen: Gesundheitspolitik und Gesundheitsökonomie zwischen Markt und Staat: C A P Analyse*. 2011
- [181] Friedrich, P. ; Kneitz, J. ; Martius, P. ; Weber, R. ; Spittler, T. ; Wolf, B. : *Telemedizinische Anwendungsbeobachtung mit COMES im klinischen und heimischen Umfeld: Lebensqualität im Wandel von Demografie und Technik*. 2013
- [182] Krüger-Brand, H. : E-Health-Report: Telematik gewinnt an Bedeutung für die Ärzte. 107 (2010), Nr. 36, S. 1686–1690
- [183] Bundesärztekammer ; Bundesärztekammer (Hrsg.): *Voraussetzungen für gute Telemedizin*. <http://www.bundesaerztekammer.de/page.asp?his=0.2.6578.8260.8265.8432.8433>, 2010

## Literatur

- [184] Osl, P. ; Sassen, E. ; Österle, H. ; Fischer, A. : Erfolgreiche Telemedizinlösungen und Kundenakzeptanz zukünftiger Weiterentwicklungen: Das Geschäftsmodell des Schweizer Zentrums für Telemedizin MEDGATE. In: *Ambient Assisted Living*. 2009
- [185] Leisenfeld, J. ; Loss, K. : Geschäftsmodelle für Dienstleistungen im Bereich Telemedizin und E-Health@Home. 2010
- [186] Manzeschke, A. : Telemedizin und Ambient Assisted Living aus ethischer Perspektive. In: *Bayerisches Ärzteblatt* 69 (2014), Nr. 9, S. 480
- [187] Bondolfi, A. : Telemedizin und Ethik. Sicht des Sozialethikers und Theologen. In: *Health Academy* (2003), Nr. 2, S. 93–109
- [188] Wolf, B. : Einrichtung zur Früherkennung von kritischen Gesundheitszuständen, insbesondere bei Risikopatienten. In: *Offenlegungsschrift DE 100* (2001), Nr. 06, S. 598
- [189] Grätz, P. Grätzel v.:
- [190] Clauss, J. ; Sattler, M. ; Seeher, W. D. ; Wolf, B. : In-vivo monitoring of bruxism with an intelligent tooth splint-Reliability and validity. In: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7-12, 2009, Munich, Germany* Springer, 2009, S. 108–111
- [191] Hofsoy, D. A. ; Clauss, J. ; Wolf, B. : An intelligent implant system for monitoring and biofeedback therapy of snoring. In: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7-12, 2009, Munich, Germany* Springer, 2010, S. 196–199
- [192] Schmidhuber, M. : *Konzeption und Erprobung eines biohybriden nanoanalytischen Handheld Systems*. München, Technische Universität München, Diss., 2011
- [193] 1A.NET Das Verbraucherportal: *Anzahl der Krankenversicherungen in Deutschland*. <http://www.1a.net/krankenversicherung/statistiken/anzahl-krankenversicherungen>, März 2012
- [194] Spitzenverband, G. : *Alle gesetzlichen Krankenkassen*. <http://www.gkv-spitzenverband.de/ITSGKrankenkassenListe.gkvnet>, März 2012. – eigene Übersetzung
- [195] Dietz, R. ; Rauch, B. : Leitlinie zur Diagnose und Behandlung der chronischen koronaren Herzerkrankung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie-Herz-und Kreislaufforschung (DGK). In: *Zeitschrift für Kardiologie* 92 (2003), Nr. 6, S. 501–521
- [196] Gabler Verlag ; Gabler Verlag (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon: Stichwort: maschinelles Lernen*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/77372/maschinelles-lernen-v7.html>, 2013

- [197] Gottermeier, C. : *Data Mining: Modellierung, Methodik und Durchführung ausgewählter Fallstudien mit dem SAS® Enterprise Miner™*. Heidelberg, Universität Heidelberg, Diss., 2003
- [198] Statistisches Bundesamt ; Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Gesundheit: Todesursachen in Deutschland*. Wiesbaden : [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400117004?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400117004?__blob=publicationFile), 2011 (12)
- [199] Mayer-Berger, W. ; Deutsche Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankungen e.V. (Hrsg.): *Pocket-Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen*. [http://www.dgpr.de/fileadmin/user\\_upload/DGPR/Leitlinien/Pocket\\_Leitlinie\\_DGPR\\_HK.pdf](http://www.dgpr.de/fileadmin/user_upload/DGPR/Leitlinien/Pocket_Leitlinie_DGPR_HK.pdf), 2007. – Stand: 05.09.2013
- [200] Agrawal, R. (Hrsg.) ; Srikant, R. (Hrsg.): *Fast Algorithms for Mining Association Rules*. 1994
- [201] *Fast algorithms for mining association rules*. Bd. 1215. 1994 . – 487–499 S.
- [202] Häbler, U. ; Media Engineering (Hrsg.): *Javascript DOM Nodes*. <http://www.mediaevent.de/javascript/DOM-Nodes.html>, 2008
- [203] Selfhtml e.V. ; Selfhtml e.V. (Hrsg.): *JavaScript/DOM*. <http://de.selfhtml.org/intro/technologien/javascript.htm>, 2013
- [204] Zietlow, F. : *MVC (Model-View-Controller) im Zend Framework*. <http://www.zietlow.net/zend-framework/mvc-model\T1\textendashview\T1\textendashcontroller-im-zend-framework/16/>, 2013
- [205] Van Dyk, L. ; Fortuin, J. ; Schutte, C. : A maturity model for telemedicine implementation. In: *The Fourth International Conference on eHealth, Telemedicine and Social Medicine*, S. 78–84
- [206] Spittler, T. ; Bachinger, T. ; Kirchmann, M. ; Wolf, B. : Support of Therapy for Cardiovascular Diseases by Telemedical Intervention. In: *IADIS WWW/Internet*. Fort Worth, Texas, USA, 2013
- [207] Spittler, T. ; Weiss, R. ; Köhl, S. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Care Of Cardiovascular Disease With COMES®. In: *Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin), IEEE International Conference*. Berlin, Germany, 2013
- [208] Spittler, T. ; Weiss, R. ; Orban, A. ; Martius, P. ; Friedrich, P. ; Wolf, B. : Telemedizinische Assistenz in der akuten und nachsorgenden Rehabilitation. In: *6. Deutscher AAL Kongress*. Berlin, Germany : VDE Verlag GmbH, 2013, S. 90 – 92