

*ERWEITERUNG VON KONZEPTEN DES
COMPLEX EVENT PROCESSINGS ZUR
INFORMATIONSLOGISTISCHEN VERARBEITUNG
TELEMEDIZINISCHER EREIGNISSE*

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

Der Technischen Universität Dortmund
an der Fakultät für Informatik

von

SVEN MEISTER

Dortmund

2013

Tag der mündlichen Prüfung: 03.04.2014

Dekanin: Prof. Dr. Gabriele Kern-Isberner
Gutachter: Prof. Dr. Jakob Rehof
Prof. Dr. Tiziana Margaria-Steffen

Zusammenfassung

Erste Abschätzungen für das Gesundheitswesen prognostizieren einen Anstieg an Daten von 500 Petabytes im Jahr 2012 auf 25.000 Petabytes im Jahr 2020 [FMS12]. Der BITKOM [Bun12] untermauert dieses und benennt eine jährliche Wachstumsrate an Daten von 40-50%. Frost & Sullivan [Fro12] haben die Daten innerhalb von Krankenhäusern auf 1 Milliarde Terabytes geschätzt und prognostizieren für das Jahr 2016 eine Datenmenge von 1.8 Zetabytes. Die zur Verfügung stehenden Daten zeichnen sich durch ein hohes Maß an Heterogenität aus. Insbesondere hochfrequente Echtzeitdaten, wie sie beim Vitalwertmonitoring entstehen, besitzen einen hohen medizinischen Wert, sind jedoch gleichzeitig nur schwer zu erschließen.

Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb Konzepte entwickelt, die eine intelligente Verarbeitung von heterogen verteilten Vitalwerten ermöglichen. Zielsetzung ist es, hierbei eben solche Daten derart zu filtern und verdichten, dass hieraus entscheidungsunterstützende Informationen entstehen und das Maß der Informationsübersorgung reduziert wird. Hierzu werden Konzepte aus den beiden Forschungsfeldern Informationslogistik und Complex Event Processing betrachtet und zu einem ereignisverarbeitenden System für telemedizinische Ereignisse zusammengeführt. Mithilfe der temporalen Abstraktion werden aus einer zeitlich geordneten Menge von einfachen Ereignissen komplexe Ereignisse - sog. Trendpatern - erzeugt. Unter Anwendung des formalisierten Informationsbedarfs eines Anwenders, werden aus diesen Pattern bedarfsgerechte Informationen erzeugt. Die wesentliche Eigenschaft des zu konzipierenden und implementierenden Systems ist die Modularisierung der Verarbeitungsroutinen, zur einfachen Adaption an sich verändernde Gesundheitszustände und somit eine Reduzierung notwendiger Implementierungsaufwendungen.

Die konzeptionellen und implementatorischen Ergebnisse dieser Arbeit werden im Rahmen einer Evaluation unter Anwendung großer, heterogener Datenbestände bewertet. Im Fokus steht hierbei der Nachweis einer bedarfsgerechten Verdichtung von Daten zu Informationen sowie einer Minimierung von Implementierungsaufwendungen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	x
Definitionsverzeichnis	xiv
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung zur Verarbeitung telemedizinischer Daten.....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	5
1.3 Aufbau der Arbeit.....	6
2 Einsatz der Informationslogistik in der Telemedizin	9
2.1 Einleitung	9
2.2 Entwicklung und Bedeutung des Begriffs Telemedizin.....	9
2.2.1 „Wer“ kommuniziert miteinander	12
2.2.2 „Wohin“ wird kommuniziert.....	12
2.2.3 „Was“ wird kommuniziert.....	12
2.2.4 „Wann“ wird kommuniziert	14
2.2.5 „Womit“ wird kommuniziert.....	14
2.2.6 „Warum“ wird kommuniziert.....	14
2.3 Abgrenzung und Definition des Begriffs Telemedizin im Rahmen dieser Ausarbeitung	15
2.4 Use Cases dieser Ausarbeitung	19
2.4.1 Use Case: Adipositas-Begleiter.....	19
2.4.2 Use Case: FitPit – Das Fitness-Cockpit.....	20
2.4.3 Use Case: Anästhesieüberwachung.....	21
2.5 Zusammenfassung.....	21
3 Related Work	23
3.1 Einleitung	23
3.2 Informationslogistik	24
3.2.1 Der Informationsbegriff.....	24
3.2.2 Der Logistikbegriff.....	34
3.2.3 Informationslogistik	35
3.3 Complex Event Processing.....	43
3.3.1 Bezug des Complex Event Processings zur Domäne Telemedizin	49

3.3.2	Event Processing Engines und Sprachen.....	51
3.3.3	Architektur und Konzepte verteilter Systeme	53
3.3.4	Temporalität	54
3.4	Projekte mit ähnlicher Zielsetzung.....	55
3.4.1	Stride	55
3.4.2	SAPHIRE	56
3.4.3	SOPRANO und openAAL	56
3.5	Abgrenzung zu anderen wissenschaftlichen Forschungsfeldern.....	57
3.5.1	Was unterscheidet Ereignisverarbeitung von ECA-Rules und Publish/Subscribe-Systemen?	57
3.5.2	Abgrenzung zu Clinical Decision Support (CDS), agentenbasierten Systemen (ABS) und wissensbasierten Systemen (WBS)	58
3.5.3	Datenstrommanagementsysteme	59
3.6	Zusammenfassung.....	60
4	Anforderungen und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des CEPs	61
4.1	Einleitung.....	61
4.2	Anforderungen an einen Lösungsansatz zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des CEPs	61
4.3	Nutzbarkeit des Complex Event Processings zur informationslogistischen Verarbeitung in der Telemedizin.....	65
4.4	Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	72
4.5	Notwendige Anpassung und Erweiterung.....	75
4.6	Zusammenfassung.....	76
5	Erweiterung einer ILOG-Engine zur modularen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des CEPs.....	77
5.1	Einleitung.....	77
5.2	Informationslogistische Systeme und Complex Event Processing	77
5.3	Telemedizinische Ereignisse und Ereignistypen.....	82
5.3.1	Definition eines telemedizinischen Ereignisses	83
5.3.2	Telemedizinische Ereignistypen.....	85
5.3.2.1	Attribute eines telemedizinischen Ereignistypen	87
5.3.3	HL7 Telemedical Event Format	91
5.3.3.1	Grundlagen zur Modellierung mit HL7.....	91
5.3.3.2	Grundlagen zu den IEEE 11073 Standards	94
5.3.3.3	Modellierung des HL7 Telemedical Event Formats	96

5.4	Telemedizinischer ILOG Listener (TIL).....	103
5.4.1	Definition eines telemedizinischen ILOG Listeners.....	103
5.4.2	Konzeptioneller Aufbau eines TILs	105
5.4.2.1	Filterung	107
5.4.2.2	Erkennung von Mustern	109
5.4.2.3	Transformation	110
5.4.3	Operatoren auf telemedizinischen Ereignissen.....	111
5.5	Telemedizinische ILOG Listener Profile (TIL-Profil).....	114
5.5.1	Definition eines telemedizinischen ILOG Listener Profils	115
5.5.2	Konzeptioneller Aufbau eines TIL-Profiles	117
5.6	Die ILOG-Engine: Informationslogistische Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse unter Anwendung von TIL-Profilen und TILs.....	118
5.6.1	Prozess zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse (TIEP-Prozess).....	118
5.6.2	Abbildung des TIEP-Prozesses auf die ILOG-Engine	122
5.6.3	Bedeutung temporaler Aspekte in der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse	124
5.6.4	Informationslogistische Verarbeitung unter Anwendung telemedizinischer ILOG Listener	128
5.6.4.1	Temporale Abstraktion und Erkennung von Trend Pattern zur Verdichtung elementarer telemedizinischer Ereignisse	128
5.6.4.2	Complex Trend Pattern Event	132
5.6.4.3	Vorgaben zur Implementierung eines Algorithmus für die Verarbeitungslogik	136
5.6.5	Informationslogistische Verarbeitung in TIL-Profilen.....	138
5.6.5.1	Bedarfsformalisierung.....	139
5.6.5.2	Bedarfserfüllung.....	145
5.6.5.3	Vorgaben zur Implementierung von Algorithmen für die Verarbeitungslogik zur Informationsverdichtung	146
5.7	Zusammenfassung.....	149
6	TiEE - Die Telemedizinische ILOG Event Engine: Nachweis zur Realisierbarkeit der konzipierten ILOG-Engine.....	153
6.1	Einleitung	153
6.2	Konzeption der TiEE-Gesamtarchitektur	153
6.2.1	Anforderungen.....	156
6.2.1.1	Funktionale Anforderungen	156
6.2.1.2	Nichtfunktionale Anforderungen.....	157

6.2.2	Programmiersprache und Technologien.....	158
6.2.2.1	Event Processing Engine.....	161
6.3	Komponentenspezifikation und Implementierung.....	163
6.3.1	TiEE-Engine.....	165
6.3.2	TIL.....	167
6.3.3	TIL-Profile.....	171
6.3.4	Ereigniskanale.....	175
6.3.5	Health Device Gateway.....	176
6.3.6	Administrationsschnittstelle.....	178
6.4	Weiterentwicklungsmöglichkeiten.....	181
6.4.1	Bedarfsmodellierung.....	181
6.4.2	TIL-Repository.....	182
6.4.3	ILOG Intelligent Notification (IIN).....	182
6.5	Zusammenfassung.....	182
7	Umsetzung und Evaluation der Use Cases auf Basis von TiEE.....	184
7.1	Einleitung.....	184
7.2	Umsetzung der Use Cases.....	184
7.2.1	Evaluationsziele.....	185
7.2.2	Vorgehen zur Umsetzung der Use Cases.....	186
7.2.3	Use Case: FitPit.....	187
7.2.3.1	Testumgebung und Testaufbau.....	188
7.2.3.2	Bedarfsformalisierung.....	189
7.2.3.3	Instanziierung der TIL-Profile.....	191
7.2.3.4	Instanziierung der TILs.....	193
7.2.4	Use Case: Adipositas-Begleiter.....	194
7.2.4.1	Testumgebung und Testaufbau.....	194
7.2.4.2	Bedarfsformalisierung.....	195
7.2.4.3	Instanziierung des TIL-Profiles.....	198
7.2.4.4	Instanziierung der TILs.....	200
7.2.5	Use Case: Anästhesieüberwachung.....	200
7.2.5.1	Testumgebung und Testaufbau.....	201
7.2.5.2	Bedarfsformalisierung.....	202
7.2.5.3	Instanziierung der TIL-Profile.....	205
7.2.5.4	Instanziierung der TILs.....	206
7.3	Ausführung und Analyse der Use Cases.....	207
7.3.1	Use Case: Anästhesieüberwachung.....	207

7.3.2	Use Case: FitPit	214
7.3.3	Use Case: Adipositas-Begleiter	217
7.3.4	Performanceanalyse	220
7.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnis	223
7.5	Zusammenfassung	226
8	Diskussion und Ausblick	228
8.1	Verbesserungen gegenüber vorherigem Stand	228
8.2	Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse	230
8.3	Ausblick	231
	Anhang.....	232
	Literaturverzeichnis	261

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehen zur Erarbeitung und Implementierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis telemedizinischer Ereignisse.	7
Abbildung 2: DIKW-Pyramide, angelehnt an [Ack89, Bod03, Zel87].....	25
Abbildung 3: Wechselbeziehung zwischen Form, Inhalt und Wirkung nach [FK02].	26
Abbildung 4: Beziehungen zwischen Daten, Informationen und Wissen nach [BC04].	26
Abbildung 5: Informationsfluss über einen Kanal nach [Wer08].	28
Abbildung 6: Bestimmung des Informationsgehalts $I(p)$, p =Auftrittswahrscheinlichkeit, nach [Wer08].	29
Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der Informationsmenge, der Informationsverarbeitungsqualität sowie der Qualität der Entscheidungstreffung nach [HL99].	37
Abbildung 8: Vorgehen eines Informationsverarbeitungssystem, angelehnt an [NS72, Sha48].	41
Abbildung 9: Zusammenhang von Ansätzen des CEPs zum ISO OSI-Modell in Anlehnung an [LF98]. Hier sind lediglich die für diese Ausarbeitung relevanten oberen Ebenen abgebildet.	53
Abbildung 10: Verarbeitung von HL7-Nachrichten in Stride aus [Sta11b].	55
Abbildung 11: Abgrenzung der Ereignisverarbeitung von den Forschungsbereichen der ECA-Regeln (links) und der Publish/Subscribe-Systeme (rechts) in Anlehnung an [CEA11].	57
Abbildung 12: Verarbeitung von externen Stimuli in Form von Events durch ein CEP-System.....	67
Abbildung 13: Aufbau informationslogistischer Anwendungen nach [DLB+01, BDFK+99].....	78
Abbildung 14: Die sieben Basisbausteine der Ereignisverarbeitung nach [EN10].	80
Abbildung 15: Bausteine zur Modellierung der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Arbeitsergebnisse dieser Ausarbeitung sind rot markiert.	81
Abbildung 16: Skizzierung des Aufbaus eines telemedizinischen Ereignistypen.....	86
Abbildung 17: Die sechs Basisklassen des HL7 RIM.....	93
Abbildung 18: Übersicht der Symbole der HL7-Modellierungssprache.....	94
Abbildung 19: IEEE 11073 Domain Information Modell (vergrößert siehe auch Anhang A3).	95

Abbildung 20: HL7 RMIM des IEEE 11073 DIM [YD11] (vergrößert siehe auch Anhang A2).	96
Abbildung 21: Vorgehensweise zur Ableitung des HL7 Telemedical Event Formats aus dem Segment-Modell unter Nutzung des HL7 RIM.	97
Abbildung 22: Unter Anwendung des HL7 RIM modelliertes HL7 R-MIM eines telemedizinischen Ereignisse (siehe auch vergrößert in Anhang A15).	99
Abbildung 23: Konzeptionelle Darstellung eines telemedizinischen ILOG Listeners.	106
Abbildung 24: Konzeptionelle Darstellung eines TIL-Profiles.	117
Abbildung 25: Verarbeitung von Daten in Data Mining (DM)-Anwendungen [Run10], im Bereich der Wissensentdeckung in Datenbanken (KDD) [HK05] sowie im Bereich des kognitiven physiologischen Monitorings (CPM) [Yan09].	119
Abbildung 26: Fünf Aktivitäten zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des Complex Event Processings.	121
Abbildung 27: Lineare Ordnung der Zeitachse zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse.	125
Abbildung 28: Anwendung temporaler Abstraktion unter Nutzung von Trend Pattern.	130
Abbildung 29: Beschreibung des Informationsbedarfs.	143
Abbildung 30: Skizzierung der Verarbeitung eintreffender CTPEs für die Vitalwerttypen Gewicht und Puls.	146
Abbildung 31: Architekturpattern für ereignisverarbeitende Architekturen (erweitert und angelehnt an [CEA11] und [BD10]).	153
Abbildung 32: Überblick über die TiEE-Architektur.	155
Abbildung 33: Architektur der Event Processing Engine Esper.	163
Abbildung 34: Verteilung der an TiEE beteiligten Komponenten.	164
Abbildung 35: Komponentendiagramm der TiEE-Engine.	166
Abbildung 36: Klassendiagramm zu einem TIL.	168
Abbildung 37: Klassendiagramm der abstrakten Klasse <code>AbstractAlgorithm</code>	169
Abbildung 38: Anwendung der Online-Segmentierung nach Charbonnier [Cha03].	170
Abbildung 39: Klassendiagramm zu einem TIL-Profil.	172
Abbildung 40: Klassendiagramm der abstrakten Klasse <code>AbstractActivity</code>	175
Abbildung 41: Komponentenmodell des JMS-basierten Ereigniskanals.	175

Abbildung 42: Komponentenmodell des Health Device Gateways.....	177
Abbildung 43: Komponentenmodell der Administrationsschnittstelle.....	180
Abbildung 44: TiEE-Administrationsoberfläche.....	181
Abbildung 45: Evaluationsaufbau.....	184
Abbildung 46: Bedarfsmodellierung für den Use Case FitPit (vergrößert siehe Anhang A11).....	190
Abbildung 47: Bedarfsmodellierung für den Use Case Adipositas Begleiter (vergrößert siehe Anhang A12).....	196
Abbildung 48: Kapnographiekurve; Links: Normal, Rechts: Obstruktion.....	203
Abbildung 49: Bedarfsmodellierung für den Use Case Anästhesieüberwachung (vergrößert siehe Anhang A13).....	203
Abbildung 50: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D1).....	208
Abbildung 51: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D1).....	208
Abbildung 52: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D1).....	210
Abbildung 53: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D2).....	210
Abbildung 54: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D2).....	211
Abbildung 55: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D2).....	212
Abbildung 56: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D3).....	212
Abbildung 57: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D3).....	213
Abbildung 58: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D3).....	214
Abbildung 59: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC FitPit).....	215
Abbildung 60: Verteilung der verarbeiteten Ereignisse, CTPEs und Aktivitäten auf die einzelnen Probanden (UC FitPit).....	215
Abbildung 61: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC FitPit).....	216

Abbildung 62: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC FitPit).....	217
Abbildung 63: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Adipositas).....	217
Abbildung 64: Verteilung der verarbeiteten Ereignisse, CTPEs und Aktivitäten auf die einzelnen Probanden (UC Adipositas).....	218
Abbildung 65: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Adipositas).....	219
Abbildung 66: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Adipositas).....	219
Abbildung 67: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Performance).	220
Abbildung 68: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Performance).	221
Abbildung 69: Vergleich der mittleren Verarbeitungszeit zwischen Voll- und Trenddatensatz.	222
Abbildung 70: Benötigte Zeit zur Bereitstellung, Entnahme und Verarbeitung der Ereignisse unter Nutzung des JMS-Kanals.....	222

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Akteurstypen.....	12
Tabelle 2: Typen telemedizinischer Anwendungen.....	13
Tabelle 3: Klassifikation nach WHO 2010 [Wor10]......	15
Tabelle 4: Beschreibung der Parameter zur Definition von Anwendungsklassen.....	15
Tabelle 5: Beschreibung der Anwendungsklasse Telemonitoring zum Aufbau von Use Cases.....	18
Tabelle 6: Klassifikation von Informationssystemen nach ihrem Einsatzzweck.	30
Tabelle 7: Abbildung der ACM Special Interest Groups auf die Komponenten des Informationsverarbeitungsmodells aus Abbildung 8.	42
Tabelle 8: Ergebnis der Recherche nach Anforderungen an ein System zur Verarbeitung von Telemonitoringdaten.	62
Tabelle 9: Bedeutung nichtfunktionaler Anforderungen für die Implementierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten.....	64
Tabelle 10: Vergleich zwischen den Komponenten eines informationslogistischen Informationssystems und den Technologien des Complex Event Processings.	69
Tabelle 11: Zusammenfassung der offenen Fragestellungen zur Verarbeitbarkeit telemedizinischer Ereignisse unter Nutzung von CEP.....	71
Tabelle 12: Auflistung der eingesetzten Datentypen.....	87
Tabelle 13: Zusammenfassung der Attribute des Type-Segments.....	88
Tabelle 14: Zusammenfassung der Attribute des Processing-Segments.	89
Tabelle 15: Zusammenfassung der Attribute des Medical Content-Segmentes.	90
Tabelle 16: Zusammenfassung der Attribute des Payload Segments.	91
Tabelle 17: Abbildung der Attribute des telemedizinischen Ereignistypen auf HL7 mithilfe des HL7 RIM.	98
Tabelle 18: Übersicht über die im R-MIM eingesetzten Elemente.....	101
Tabelle 19: Elemente zur Beschreibung einer Event-Pattern-Regel, angelehnt an [Luc02, EN10]......	109
Tabelle 20: Elemente zur Beschreibung einer Transformationsregel.....	110
Tabelle 21: Übersicht über mögliche Komparatoren.	111
Tabelle 22: Übersicht über Logikoperatoren.....	112
Tabelle 23: Arithmetische Operatoren im Überblick.	112

Tabelle 24: Intervallbasierte Operationen nach Allen [All83].	113
Tabelle 25: Kausale Operatoren.	114
Tabelle 26: Mengenbasierte Operatoren.	114
Tabelle 27: Fensterbasierte Operatoren im Überblick.	114
Tabelle 28: Definition der relevanten Trends, welche durch einen Algorithmus zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse berücksichtigt werden müssen.	131
Tabelle 29: Zusammenfassung der Processing-Attribute	133
Tabelle 30: Auflistung der relevanten Parameter eines Complex Trend Pattern Events.	133
Tabelle 31: Klassifikation der Steigerungsraten.	135
Tabelle 32: Klassifikation der Geschwindigkeit.	135
Tabelle 33: Klassifikation des Wertebereichs des Trendverlaufs.	135
Tabelle 34: Klassifikation des Wertebereichs der Dauer.	135
Tabelle 35: Klassifikation der den Trend stützenden Anzahl an telemedizinischen Ereignissen.	136
Tabelle 36: Elemente zur Modellierung klinischer Entscheidungen nach dem Clinical Algorithm Standard [Soc92].	140
Tabelle 37: Beispiele zur Nutzung der definierten Sprache.	142
Tabelle 38: Exemplarische Bedingungen zur Überwachung von Patienten bei dekompensierter Herzinsuffizienz.	144
Tabelle 39: Anforderungen an die Implementierung von TIL-Profilen.	156
Tabelle 40: Anforderungen an die Implementierung von TILs.	156
Tabelle 41: Anforderungen an die Administrationsschnittstelle.	157
Tabelle 42: Anforderungen an das Health Device Gateway.	157
Tabelle 43: Logging und Nachvollziehbarkeit.	157
Tabelle 44: Performance, Durchsatz, Antwortzeiten, Reaktionszeiten.	157
Tabelle 45: Verfügbarkeit, Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit.	158
Tabelle 46: Datenschutz und Datensicherheit.	158
Tabelle 47: Unterstützung von Standards, Normen und Richtlinien.	158
Tabelle 48: Einzusetzende Sprachen, Methoden, Technologien und Werkzeuge.	158
Tabelle 49: Liste der im Rahmen der Implementierung eingesetzten Technologien.	159

Tabelle 50: Ergebnis des Vergleichs der Event Processing Engines Esper und Etalis (angelehnt an [Stal1a]).....	161
Tabelle 51: Übersicht und Beschreibung der relevanten Klassen zur Realisierung der Komponenten TIL-Profil und TIL.....	166
Tabelle 52: Übersicht und Beschreibung der relevanten Funktionen eines TILs.....	167
Tabelle 53: Übersicht über die unterstützten Vitalwertsensoren.....	178
Tabelle 54: Auflistung der relevanten Administrationsfunktionen.....	178
Tabelle 55: Use Cases zur Administration von TILs und TIL-Profilen.....	178
Tabelle 56: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Case FitPit.....	188
Tabelle 57: Testaufbau FitPit.....	188
Tabelle 58: Bedingungen für den Use Case FitPit.....	190
Tabelle 59: Aktivitäten für den Use Case FitPit.....	190
Tabelle 60: Bedarfsprofile für den Use Case FitPit.....	191
Tabelle 61: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper Statements.....	192
Tabelle 62: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Cases Adipositas- Begleiter.....	194
Tabelle 63: Testaufbau Adipositas-Begleiter.....	195
Tabelle 64: Bedingungen für den Use Case Adipositas-Begleiter.....	196
Tabelle 65: Aktivitäten für den Use Case Adipositas-Begleiter.....	197
Tabelle 66: Bedarfsprofile für den Use Case Adipositas-Begleiter.....	197
Tabelle 67: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper-Statements.....	198
Tabelle 68: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Cases Anästhesieüberwachung.....	201
Tabelle 69: Testaufbau Use Case Anästhesieüberwachung.....	201
Tabelle 70: Bedingungen für den Use Case Anästhesieüberwachung.....	204
Tabelle 71: Aktivitäten für den Use Case Anästhesieüberwachung.....	204
Tabelle 72: Bedarfsprofile für den Use Case Anästhesieüberwachung.....	205
Tabelle 73: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper Statements.....	205
Tabelle 74: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D1).....	209
Tabelle 75: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D2).....	211
Tabelle 76: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D3).....	213

Tabelle 77: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC FitPit).....	216
Tabelle 78: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Adipositas).....	219
Tabelle 79: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Performance).	221
Tabelle 80: SWOT-Analyse für das TiEE System.	226

Definitionsverzeichnis

Definition 1 - Telemedizin: Telemedizin ist die Bereitstellung von Gesundheitsdienstleistungen über internetbasierte Informations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Heil- und Gesundheitsfachberuflern. Es können verschiedene Anwendungsklassen der Telemedizin entlang der in Tabelle 4 benannten Parameter differenziert werden.....	16
Definition 2 - Telemonitoring: Das Telemonitoring ist eine Anwendungsklasse der Telemedizin, in welcher der Gesundheitszustand eines Patienten unter Überbrücken von Distanzen von einem Gesundheitsberufler überwacht wird. Zur Überwachung erfolgt der Einsatz technischer Hilfsmittel, um zu einzelnen Vitalwerttypen Vitalwerte zu bestimmen. Die Übertragung der Daten kann synchron (Echtzeitverarbeitung) oder asynchron (partielle Verlaufsbewertung) erfolgen.	17
Definition 3 - Vitalwert: Ein Vitalwert repräsentiert die Messung von Parametern am menschlichen Körper zur Bewertung seiner Körperfunktionen bzw. seines Gesundheitszustands. Die zu messenden Parameter werden als Vitalparameter oder, wie im Rahmen dieser Arbeit, als Vitalwerttyp bezeichnet. Beispiele hierfür sind der Blutdruck, der Puls oder die Sauerstoffsättigung.....	17
Definition 4 – Telemedizinisches Datum: Ein telemedizinisches Datum ist eine Konkatenation von Zeichen aus einem endlichen Zeichenvorrat und beschreibt ein, im Rahmen einer telemedizinischen Überwachung durch ein Ereignis entstandenes Faktum. Beispiele: Blutdruck = 120/80, Messgerät = Pulsometer.....	27
Definition 5 – Telemedizinische Information: Eine telemedizinische Information ist die Zusammenführung einer Menge von telemedizinischen Daten und besitzt innerhalb eines telemedizinischen Behandlungskontexts für einen Empfänger Relevanz. Beispiel: Der Patient mit dem Namen Meier hat, gemessen mit dem Blutdruckmessgerät der Firma XY am 01.01.2012, einen Blutdruck von 120/80.	27
Definition 6 – Transport telemedizinischer Informationen: Der Transport einer telemedizinischen Information erfolgt von einem Sender über einen Kanal zu einem Empfänger. Der Transport kann durch informationsverarbeitende Mechanismen positiv wie auch negativ gestört werden. Eine negative Störung bezeichnet einen Fehler in der Verarbeitungslogik, welcher den Wert der transportierten Information senkt. Eine positive Störung charakterisiert Verarbeitungslogiken, welche den Wert einer Information steigern.	29
Definition 7 – Informationsgehalt telemedizinischer Informationen: Der Informationsgehalt einer telemedizinischen Information steigt mit der Relevanz, respektive der Kritikalität der Situation. Eine kritische Situation ist ein selten eintretendes Ereignis mit einer hohen medizinischen Relevanz.	29
Definition 8 – Informationsbedarf (information need): Der Informationsbedarf oder Information Need ist ein vager, noch nicht offensichtlicher Bedarf, der zur Lösung eines möglicherweise eintretenden telemedizinischen Problems erfüllt werden muss.....	32
Definition 9 – Informationsnachfrage (information demand): Die Informationsnachfrage oder Information Demand ist die formalisierte und in Form einer Anfrage formulierte Abfrage eines Informationsbedarfs. Nutzer drücken ihren	

Informationsbedarf in Form von Fragen auf Basis von vorhandenem Vorwissen aus.	33
Definition 10 – Relevanz telemedizinischer Informationen: Die Relevanz einer telemedizinischen Information ist ein Zusammenhang aus dem Nutzwert und der Validität der Information sowie dem Aufwand zum Zugriff auf diese. Die Information besitzt hohe Relevanz, wenn sie eine medizinische Situation mit hoher Signifikanz beschreibt, z. B. mit hoher Kritikalität.	34
Definition 11 – Informationsübersversorgung (information overload): Informationsübersversorgung wird definiert als der Zustand, bei welchem die kognitiven Leistungen zur Informationsverarbeitung aufgrund einer zu hohen Informationsdichte erschöpft sind und die Qualität der Entscheidungsfindung abnimmt.	38
Definition 12 – Informationslogistik (information logistics): Unter Informationslogistik wird im Folgenden die bedarfsgerechte Versorgung der Anwender von Informations- und Kommunikationssystemen mit Informationen unter Zuhilfenahme multidimensionaler Modelle verstanden.	40
Definition 13 – Ereignis (event): Ein Ereignis E_i ist ein Objekt, das aufgrund einer Zustandsänderung des betrachteten Gesamtsystems erzeugt wurde und diese Zustandsänderung protokolliert.	44
Definition 14 - Komplexes Ereignis (complex event): Ein komplexes Ereignis C_i ist eine Aggregation von elementaren Ereignissen E_i . Die elementaren Ereignisse sind Teil des komplexen Ereignisses, weil sie entweder in einem kausalen Zusammenhang stehen oder aber ein definiertes Muster (Pattern) erfüllen.	45
Definition 15 - Complex Event Processing (CEP): Das Complex Event Processing bezeichnet die Verarbeitung von einfachen und komplexen Ereignissen unter Nutzung einer Complex Event Processing Engine. Durch Anwendung von Regeln können Ereignisse gefiltert, aggregiert oder Muster erkannt werden.	45
Definition 16 - Pattern: Mithilfe eines Pattern P_i können Zusammenhänge zwischen Ereignissen ausgedrückt werden. Unter Nutzung struktureller, logischer und mengenbezogener Operatoren werden die im Ereignisstrom zu erkennenden Muster beschrieben.	46
Definition 17 - Event Processing Agent (EPA): Ein Event Processing Agent ist eine entkoppelte, logische Einheit und Teil des Ereignisverarbeitung.	46
Definition 18 - Event Processing Network (EPN): Die logische Verknüpfung von EPAs zur Realisierung eines Flusses von Ereignissen geschieht über Event Processing Networks.	46
Definition 19 – Ereignisstrom: Eine z. B. zeitlich vollständig geordnete Menge von Ereignissen wird als Ereignisstrom bezeichnet.	46
Definition 20 - Ursache-Zeit-Axiom: Wenn ein Ereignis E_1 notwendige Vorbedingung zur Erzeugung eines Ereignisses E_2 ist, dann ist immer $\text{Zeitstempel}(E_1) < \text{Zeitstempel}(E_2)$	47
Definition 21 – Event Processing Language (EPL): Eine Event Processing Language ermöglicht die Formalisierung von Regeln zur Verarbeitung von	

Ereignissen. Hierzu stehen die im Rahmen von Definition 16 genannten Operatoren zur Verfügung. Die Mächtigkeit einer EPL ist von der jeweiligen Implementierung des Regelsystems abhängig.	47
Definition 22 – Event Processing Engine (EPE): Eine Event Processing Engine stellt sämtliche Konzepte (EPA, EPN, EPL) zur Realisierung des Complex Event Processings in implementierter Form zur Verfügung.	47
Definition 23 – ILOG-Engine: Der Kern einer jeden informationslogistischen Anwendung ist die ILOG-Engine, definiert als ein n-Tupel der Form $ILOGEngine := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$. Hierbei ist IQ die Informationsquelle, KQ die Kontextquelle, BM das Bedarfsmodell, AM das Angebotsmodell und VE die Verarbeitungseinheit.	79
Definition 24 – Telemedizinisches Ereignis: Ein telemedizinisches Ereignis ist ein n-Tupel $eiT := (ei, HL7Trans)$, respektive die Instanz eines telemedizinischen Ereignistypen unter Berücksichtigung gegebener Daten $e_i-instance_{ET}(et, data)$ und einer Abbildungsvorschrift $HL7Trans$ zur Darstellung des Ereignisses als HL7 Telemedical Event. Das Ergebnis der Abbildung $HL7Trans ei = eiT$ wird als transformiertes telemedizinisches Ereignis oder kurz telemedizinisches Ereignis bezeichnet.	84
Definition 25 – Telemedizinischer Ereignistyp: Ein telemedizinischer Ereignistyp $ET = (TP, PR, MC, PL)$ ist ein n-Tupel im Sinne eines Templates zur Vorgabe von Basisattributen, die durch jedes telemedizinische Ereignis zu erfüllen sind.	87
Definition 26 – HL7 Telemedical Event Format: Das HL7 Telemedical Event ist eine Abbildung des telemedizinischen Ereignistypen in das HL7 V3 Format durch Modellierung und Verfeinerung eines HL7 R-MIM.	97
Definition 27 – Telemedizinischer ILOG Listener (TIL): Ein TIL ist ein n-Tupel der Form $til := etin, ETout, fin, VL$ und ermöglicht die Zusammenfassung von Verarbeitungsregeln für einen einzelnen Vitalwerttypen.	105
Definition 28 – Event-Pattern: Ein Pattern ist ein n-Tupel der Form $p: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$ und ermöglicht die Definition reaktiver Regeln zur Erkennung von Mustern in einer Serie von Ereignissen.	110
Definition 29 – Transformationsregel: Eine Transformationsregel ist ein n-Tupel der Form $t: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$ und überführt ein Ereignis unter Anwendung einer Operation in ein anderes Ereignis.	111
Definition 30 – Telemedizinisches ILOG Listener Profil (TIL-Profil): Ein TIL-Profil ist ein n-Tupel der Form $TILProfil := etin, ETout, fin, T, VL$ und ermöglicht die patientenspezifische Komposition von TILs auf Basis von Event Processing Networks. Es filtert den eintreffenden Ereignisstrom und aggregiert die Ergebnisse der einzelnen TILs.	117

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung zur Verarbeitung telemedizinischer Daten

Das Gesundheitswesen befindet sich in einem stetigen Wandel, immer durch die Herausforderung getrieben, auf eine Vielzahl von strukturellen Veränderungen reagieren zu müssen. Die derzeit am häufigsten eingesetzten Mittel zur Kompensation eben dieser sind Beitragssteigerungen und Leistungskürzungen, welche jedoch zu einer allgemeinen Unzufriedenheit gegenüber dem Gesundheitssystem führen. Die folgenden strukturellen Veränderungen können hier hervorgehoben werden:

- Der demografische Wandel bezeichnet die Veränderung der Altersstruktur der Bevölkerung, insbesondere das Verhältnis zwischen Mortalität und Fertilität. In Deutschland führen eine höhere Lebenserwartung sowie eine sinkende Geburtenrate zu einer Verschiebung der Alterspyramide. Nach Hochrechnungen des Statistischen Bundesamtes werden im Jahr 2030 37 % der Einwohner in Deutschland zu den über 60-Jährigen gehören. Problematisch ist, dass viele Krankheitsbilder einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit ihres Auftretens und dem Alter zeigen. So lag die Pflegebedürftigkeit der über 80-Jährigen im Jahr 2007 bei ca. 31 %. Alleine 25 % der Gesamtausgaben im Gesundheitswesen entfielen im Jahr 2008 auf das Krankenhauswesen [Län10]. Den steigenden Ausgaben stehen durch den demografischen Wandel jedoch immer weniger Beitragszahler gegenüber. Das gesundheitsökonomische System gerät folglich immer mehr aus seinem Gleichgewicht.
- Es sind Faktoren erkennbar, die auf eine zukünftige medizinische Unterversorgung schließen lassen. Hierbei kann eine globale Unterversorgung durch einen generellen Ärztemangel sowie eine regionale Unterversorgung durch Landflucht von Ärzten beobachtet werden. Der Marburger Bund, die Interessensvertretung der angestellten und beamteten Ärzte, beziffert die Anzahl der fehlenden Ärzte im Krankenhauswesen auf 5000 und für den niedergelassenen Bereich auf 3000 für das Jahr 2009 [Mar10, AK11]. Als Grund hierfür werden neben der Abwanderung von Ärzten ins Ausland, die Überalterung des Ärztestandes sowie eine Entscheidung gegen den Arztberuf nach dem Studium genannt. Als Resultat können eine Aufrechterhaltung der hohen Qualität der medizinischen Versorgung sowie eine gerechte Verteilung medizinischer Dienstleistungen für die kommenden Jahre nicht garantiert werden.
- Bedingt insbesondere durch den demographischen Wandel, können die existierenden Kostenstrukturen nur durch Beschneidung von Leistungen und steigende Beiträge kompensiert werden [KN08]. Das klassische Gesundheitswesen, bestehend aus den Heil- und

Gesundheitsfachberuflern, den privaten und gesetzlichen Kostenträgern sowie Institutionen wie Krankenhäusern, erfährt eine marktorientierte Aufspaltung. Gesundheit wird verstärkt zu einer Dienstleistung, weshalb eine Aufspaltung in den ersten Gesundheitsmarkt, also die klassischen Versorgungs- und Finanzierungsstrukturen, und den zweiten Gesundheitsmarkt, geprägt durch eine Eigenfinanzierung von Gesundheitsdienstleistungen, zu erkennen ist [KN07].

- Der Einsatz von neuen Technologien spielt im Gesundheitswesen eine immer stärker werdende Rolle. Der medizin-technische Fortschritt ermöglicht neue und exaktere Methoden der Diagnosefindung und Therapie jedoch auf Kosten der notwendigen Ausgaben im Gesundheitswesen. Der Einsatz moderner Diagnosemethoden, insbesondere im Bereich der Bildung, sorgt dafür, dass jeder Deutsche Behandlungskosten in der Höhe von durchschnittlich 470 Euro pro Jahr erzeugt [ISE11]. Für das Jahr 2009 errechnet Schnurr einen Anstieg der Leistungsausgaben aufgrund des medizin-technischen Fortschritts auf 1,6 Milliarden Euro [SVW10]. Deshalb betont auch Felder in seiner Zusammenfassung, dass der medizin-technische Fortschritt ein enormer Kostentreiber ist, weil keine Methoden zur vorherigen Kosten-Nutzen-Analyse vorliegen [Fel04]. Henke und Reimers wiederum fordern eine differenziertere Betrachtung des medizin-technischen Fortschritts, denn Innovationen sind auf verschiedenen Ebenen, wie z. B. einer pharmakologischen, administrativen sowie technologischen Ebene, möglich [HR06].

Maßnahmen zur Kompensation der beschriebenen strukturellen Veränderungen wurden auf gesundheitspolitischer Ebene insbesondere durch die Gesundheitsreformen der Jahre 2000, 2003 (GKV-Modernisierungsgesetz), 2004 und 2007 (GKV-Wettbewerbsstärkungsgesetz) ergriffen. Hieraus entstammen Maßnahmen zur Förderung der Integrierten Versorgung (IV), Rabattverträge und zuletzt der Gesundheitsfonds. Ebenfalls Teil dieser Reformbestrebungen war eine Stärkung des Einsatzes von IT zur Verbesserung von Wirtschaftlichkeit, Qualität und Transparenz der administrativen und therapeutischen Prozesse. Hervorzuheben ist hier §291 SGB V, welcher den Einsatzbereich der elektronischen Gesundheitskarte (eGK) sowie der Telematikinfrastruktur festlegt [Fox10, MH06, Sta10]. Die hierdurch angeregte Diskussion zum Einsatz von IT im Gesundheitswesen brachte eine Vielzahl möglicher Anwendungsszenarien hervor. Hierzu zählen das elektronische Rezept ebenso wie eine Speicherung medizinischer Daten in elektronischen Patientenakten (ePa) [NDW06].

Durch den Einsatz von IT ergeben sich Möglichkeiten, neue, bezahlbare Strukturen zu schaffen, um den o.g. strukturellen Veränderungen entgegen zu wirken. Die Telemedizin (siehe auch Kapitel 2.3) spielt hier eine entscheidende Rolle, erlaubt sie es doch, räumliche sowie zeitliche Distanzen zwischen Patienten und Heilberuflern sowie Gesundheitsfachberuflern zu überbrücken. Insbesondere die telemedizinische Überwachung des Gesundheitszustands über die Vitalwerte eines Patienten, auch Telemonitoring genannt, schafft gesundheitsökonomische Vorteile, indem die Anzahl der kostspieligen Vor-Ort-Patientenkontakte durch Fern-

überwachung minimiert werden und Krankenhausaufenthalte durch frühzeitige Erkennung kritischer Situationen vermieden werden. Der Patient kann in seinem ihm bekannten häuslichen Umfeld verbleiben und ihm gewohnten Tagesabläufen nachgehen. In regelmäßigen oder auch unregelmäßigen Abständen werden seine Vitalwerte an einen vorab definierten Empfänger gesendet. Der Nachweis gesundheitsökonomischer sowie qualitätsbezogener Vorteile wurde anhand einer Vielzahl von zumeist indikationsbezogenen Telemedizin-Einzelprojekten erbracht [Häc10]. Durch die hohe Diversität und Streuung der Telemedizin sowie die stetig wachsenden Vernetzung der Akteure im Gesundheitswesen ergeben sich jedoch drei Probleme, welche den ökonomischen und qualitativen Erfolg sowie die Akzeptanz der Telemedizin verhindern.

Das **erste Problem der Informationsübersorgung (Information Overload)** resultiert aus dem stetig wachsenden Umfeld der Telemedizin, indem Ärzte mit immer komplexeren und in ihrer Anzahl steigenden Datenmengen konfrontiert werden. Der jeweilige Akteur ist gefordert, aus den Daten die für ihn relevanten Informationen abzuleiten. Relevant heißt zu entscheiden, ob eine Information z. B. zeitkritisch ist oder dem allgemeinen Informationsbedarf (siehe auch Kapitel 3.2.3, **Definition 8**) entspricht. Dies muss jedoch unter Berücksichtigung des strukturell gewachsenen Arbeitsalltags eines Arztes in Deutschland geschehen. Ein Arzt führt in seiner Praxis durchschnittlich 240 Patientenkontakte pro Woche mit einer Dauer von ca. 8 Minuten pro Patientenkontakt durch, wie das Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen sowie eine Studie der Barmer GEK belegen [KGS07, ISE11]. Kann nun die Telemedizin die Anzahl der Patientenkontakte reduzieren, so muss der Mediziner dennoch Zeit aufwenden, um die ihn erreichenden Daten zu bewerten. Beispiel: Die Empfehlung zur Messung des Vitalwerts Blutzucker sieht eine minimale Anzahl von zwei und ein Maximum von acht Messzeitpunkten abhängig vom Diabetestyp vor. Pro Patient und pro Tag bedeutet dies im Mittel eine Übersendung von vier bis fünf Nachrichten an den Arzt. Schon bei 40 telemedizinisch überwachten Patienten bedeutet dies für den Arzt 160 Nachrichten pro Tag zu überwachen, ohne dass diese eine Relevanz haben müssen. Hier spricht man von der sog. Informationsübersorgung (siehe auch Kapitel 3.2.3, **Definition 11**), also einem Missverhältnis zwischen der Anzahl zur Verfügung stehender Nutzer und dem daraus generierbarem Nutzen. Die hierzu notwendige, insbesondere zeitliche Aufwendung zur Entscheidungsfindung muss zumeist unvergütet auf freiwilliger Basis geschehen oder aber im Rahmen wertvoller Arbeitszeit erbracht werden.

Das **zweite Problem der Informationsverteilung** besteht aufgrund der Neustrukturierung der Märkte in einen ersten und einen zweiten Gesundheitsmarkt durch eine veränderte Zusammensetzung der Akteursgruppen, die als Empfänger von Nachrichten einer telemedizinischen Überwachung dienen. Neben dem Arzt etablieren sich weitere Professionen, wie z. B. Pflegedienstleister oder Sportwissenschaftler. Die beteiligten Akteure können hierbei hierarchisiert werden, so dass eine intelligente Informationsversorgung über Eskalationsstufen erfolgen könnte. Beispiel: Ein punktueller Ausreißer in der telemedizinischen Überwachung

des Blutzuckerspiegels sollte zuerst den Pflegedienst informieren. Hält dieser Zustand jedoch über einen definierten Zeitraum an bzw. weichen weitere telemedizinisch überwachte Vitalwerte gravierend vom persönlichen Optimum ab, so erfolgt erst dann eine Benachrichtigung des Arztes. Somit fehlt es an Methoden zur automatisierten, intelligenten Verteilung der Informationen.

Das **dritte Problem der Diversität** ist der strategischen Förderung des Forschungsfelds der Telemedizin geschuldet. Über Jahrzehnte erfolgte eine partikuläre, indikationsbezogene Förderung. Das Resultat sind fachliche wie auch technische telemedizinische Einzellösungen mit einem geringen Maß an Interoperabilität und einem hohen Grad an Verteilung. Gerade unter Berücksichtigung des steigenden Alters der Bevölkerung aufgrund des demografischen Wandels steigt jedoch auch das Risiko der Multimorbidität. Ein Patient leidet hierbei an einer Menge von Erkrankungen, die gleichzeitig überwacht werden muss. Beispiel: Nebst Diabetes leidet ein Patient zudem an Bluthochdruck, eine häufig zu beobachtende Koinzidenz aufgrund mangelnder sportlicher Betätigung und einer schlechter werdenden Durchblutung. Eine Korrelation der Vitalwerte beider Indikationen ist somit immanent wichtig, um Entscheidungen über den Gesundheitszustand treffen zu können. Aufgrund der fehlenden Interoperabilität zwischen den existierenden telemedizinischen Lösungen ist eine Aggregation zu einer bedarfsgerechten Information jedoch nicht möglich. Respektive impliziert dies eine Forcierung des zuerst genannten Problems der Informationsübersorgung.

Die Gesamtproblemstellung ergibt sich somit aus den drei genannten Teilproblemen der Informationsübersorgung, der Informationsverteilung sowie der Diversität der Telemedizin. Grundlegende Lösungsansätze für die genannten Probleme der Informationsübersorgung (Problem 1) sowie Informationsverteilung (Problem 2) bietet die Informationslogistik (ILOG), d. h. die richtige Information zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität und Menge an den richtigen Ort zu liefern [WWH09]. Die Forschungsaktivitäten der Informationslogistik zielen darauf ab, Informationen bedarfsgerecht zuzustellen, indem Mechanismen zur intelligenten Selektion und Verteilung von Informationen bereitgestellt werden.

Insbesondere die Diversität der existierenden telemedizinischen Lösungen (Problem 3) erfordert jedoch das Denken neuer Konzepte und Systemansätze. Es fehlt das interoperable Zusammenspiel zum aggregierten und modularen Verarbeiten von Vitalwerten. Die existierenden Lösungen sind zumeist nicht flexibel an die sich verändernden Gesundheitszustände eines Patienten anpassbar. Die ermittelten Vitalwerte werden wenn überhaupt nur rudimentär aufbereitet, respektive fehlt die Berücksichtigung informationslogistischer Konzepte, indem eine Aufbereitung zu bedarfsgerechten Informationen erfolgt.

Um nun dem natürlichen Wesen der Entstehung eines Vitalwerts im Sinne eines Einzelereignisses Rechnung zu tragen und insbesondere eine Lösung des dritten Problems der Diversität der Telemedizin zu schaffen, bedarf es erweiterter Konzepte. Das Forschungsfeld des Com-

plex Event Processing (CEP) würde eine natürliche Interpretation der Entstehung von Vitalwerten als Ereignis und eine Aggregation eben dieser zu höherwertigen (komplexen) Ereignissen ermöglichen. Zudem bietet CEP Lösungen zur Unterstützung der im dritten Problemfeld benannten Aspekte der Diversität und Verteilung telemedizinischer Anwendungen und somit der verteilten Entstehung der Ereignisse.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Auf Basis der im vorherigen Kapitel skizzierten drei Problemstellungen der Informationsübersorgung, Informationsverteilung und Diversität ergibt sich die folgende Zielsetzung für diese Dissertation:

Konzeption und Implementierung eines ILOG-Optimierers zur informationslogistischen Verarbeitung verteilter, telemedizinischer Ereignisse unter Anwendung und Erweiterung von Konzepten des Complex Event Processings.

Im Fokus dieser Dissertation stehen zwei Forschungsfelder – zum einen die Informationslogistik und zum anderen das Complex Event Processing. Als Anwendungsfeld steht die telemedizinische Vitalwerterfassung am Patienten, genannt Telemonitoring, im Vordergrund. Bekannte Beispiele sind die Ermittlung des Blutdrucks über ein Blutdruckmessgerät oder die Messung des Blutzuckerspiegels über ein Blutzuckermessgerät. Mehrmals täglich misst der Patient seine Werte. Diese dienen sowohl ihm selbst zur Kontrolle als auch dem Arzt zur Bewertung eines Krankheitsverlaufs. Dabei spielen nicht nur Schwankungen (Schwellwertüber/-unterschreitungen) eines Wertetyps sondern auch Trends (innerhalb eines Zeitintervalls erkannte Muster) sowie Abhängigkeiten zwischen mehreren Wertetypen eine entscheidende Rolle.

Dementsprechend gilt es, mithilfe des zu konzipierenden und implementierenden ILOG-Optimierers **eine modulare und interoperable Analyseinfrastruktur zur Verarbeitung von Vitalwerten im Rahmen des Telemonitoring** zu schaffen. Die technischen Ziele dieser Dissertation, also die Entwicklung der wissenschaftlichen und softwaretechnischen Konzepte, können wie folgt gegliedert werden:

- Konzeption und Implementierung einer Lösung zur übergreifenden Interpretation von Vitalwerten im Sinne telemedizinischer Ereignisse durch Nutzung existierender Standards, wie z. B. HL7 oder IEEE 11073.
- Konzeption und Implementierung von Methoden zur Modularisierung von Verarbeitungslogiken, um eine einfache Anpassung der Analytik an den veränderten Gesundheitszustand eines Patienten zu ermöglichen.

- Verdichtung der Vitalwerte zu bedarfsgerechten, entscheidungsunterstützenden Informationen, indem existierende informationslogistische Konzepte zur Selektion, Aggregation und Verteilung von Daten zur Verarbeitung von Vitalwerten angepasst werden.
- Ermöglichung einer Echtzeitverarbeitung großer Mengen eintreffender Vitalwertdaten durch Einbeziehung von Konzepten des Complex Event Processings.

Das vordergründige **fachliche Ziel** ist eine Reduzierung des Arbeitsaufwands zur telemedizinischen Überwachung von Vitalwerten eines Patienten durch einen externen Akteur. Dies bedeutet, die Zeit zur Instanziierung und Modifikation von Analysemethoden zur telemedizinischen Überwachung des Gesundheitszustands zu reduzieren. Reduzierung impliziert ebenfalls eine Minimierung des Implementierungsaufwands durch Nutzung einer modularen Analyseinfrastruktur.

Zur Sicherung der Ergebnisqualität, erfolgt eine Evaluation (siehe Kapitel 7) der erbrachten Leistungen anhand definierter Use Cases aus dem Bereich des Telemonitorings. In Kapitel 2.3 erfolgen hierzu die Abgrenzung und Definition der Begriffe Telemedizin und Telemonitoring im Rahmen dieser Arbeit. Die Evaluation wird des Weiteren die softwaretechnologische Implementierung der erarbeiteten Konzepte im Sinne eines Proof of Concept umfassen. Dies impliziert

1. einen Nachweis der Erweiterbarkeit existierender Konzepte des CEPs und der Informationslogistik zur modularen Verarbeitung von Vitalwerten, gemäß der oben definierten technischen Zielsetzungen, zu erbringen.
2. einen Nachweis der Minimierung des Aufwands zur Bereitstellung von Analysemethoden bei einer gegebenen Fragestellung und Nutzung der ILOG-Optimierers zu erbringen.

Das Produkt dieser Arbeit ist somit eine softwaretechnologische Implementierung der oben genannten neu entwickelten und erweiterten Konzepte.

Aufgrund der Diversität der Vitalwerttypen und der stark variierenden Komplexität erfolgt eine Einschränkung des Evaluationsraums anhand der in Kapitel 2.4 definierten Use Cases und der hierzu notwendigen Vitalwerttypen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Das Vorgehen zur Behandlung der genannten drei Problemstellungen unter Berücksichtigung der im letzten Abschnitt benannten Zielsetzungen, ist in der nachfolgenden Abbildung 1 skizziert. Definiert wird hierzu ein dreiphasiges Vorgehen: Phase 1 fokussiert die inhaltliche Aufarbeitung der Forschungsbereiche Informationslogistik und CEP zur Eruiierung möglicher Lösungsansätze. Basierend auf den Ergebnissen erfolgen in Phase 2 die Konzeption neuer und die Erweiterung existierender Lösungsansätze. Diese gilt es, in der abschließenden

Phase 3 zu implementieren. Auf Basis der Implementierung erfolgt die Instanziierung konkreter Use Cases zum Zweck der Evaluation der konzipierten und implementierten Konzepte.

Phase 1: Aufarbeitung des Stands der Forschung

Startend mit Kapitel 2 erfolgt eine Betrachtung und Aufarbeitung des Begriffs der Telemedizin. Die Telemedizin als Anwendungsdomäne besitzt vielfältige Ausprägungen, von denen eine das Telemonitoring ist. Entsprechend werden verschiedene Begriffswelten durch Definition gegeneinander abgegrenzt und nachfolgend der im Rahmen dieser Arbeit zu betrachtende Ausschnitt skizziert. Neben der definitorischen Betrachtung erfolgt innerhalb dieses Kapitels zudem eine Darstellung der Kommunikation im Hinblick auf Möglichkeiten zur informationslogistischen Unterstützung eben dieser. Abschließend werden die telemedizinischen Use Cases, entlang derer die Evaluation erfolgen wird und auf Basis welcher Beispiele aufgebaut werden, vorgestellt.

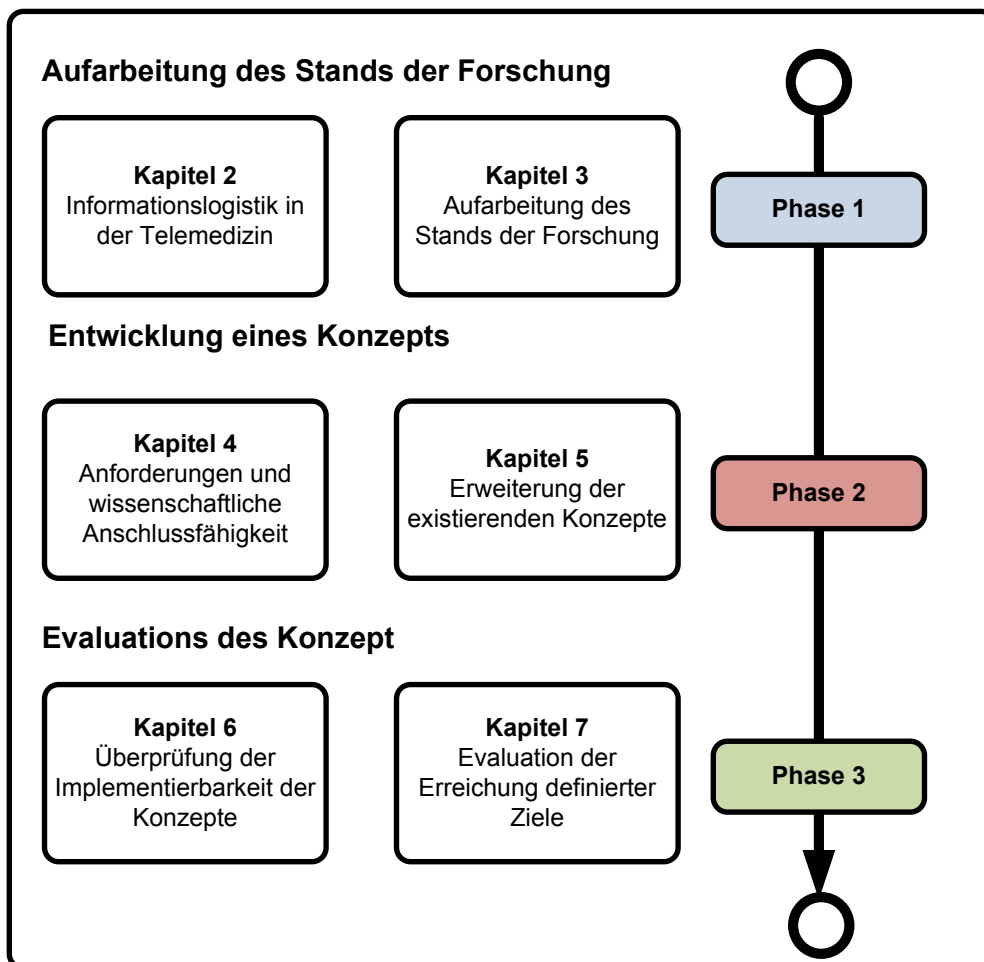


Abbildung 1: Vorgehen zur Erarbeitung und Implementierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis telemedizinischer Ereignisse.

Im nachfolgenden Kapitel 3 erfolgt die wissenschaftliche Aufarbeitung des Stands der Forschung im Bereich der Informationslogistik sowie des Complex Event Processings. Neben der allgemeinen Definition der wesentlichen Begrifflichkeiten, erfolgt ebenfalls eine domänenspezifische Betrachtung existierender Ansätze und Lösungen im medizinischen Umfeld. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Diskussion notwendiger Erweiterungen zur Realisierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis telemedizinischer Ereignisse ab.

Phase 2: Entwicklung eines Konzepts

Das Kapitel 4 rekapituliert die Ergebnisse aus Kapitel 3 im Hinblick auf eine Nutzung von Konzepten des Complex Event Processings zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten in der Telemedizin. Hierzu werden Anforderungen an eine Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse erarbeitet, der Einsatz des Complex Event Processings bewertet sowie die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit dargestellt. Hieraus leiten sich notwendige Anpassungen und Erweiterung ab, die es im nachfolgenden Kapitel zu berücksichtigen gilt.

Kapitel 5 umfasst den Hauptteil zur Konzeption einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten unter Berücksichtigung informationslogistischer Grundprinzipien und Konzepten des CEPs. Die Erarbeitung der Konzepte erfolgt entlang der in Kapitel 4 erarbeiteten Fragestellungen. Zu Beginn werden die Basisbausteine, bestehend aus dem telemedizinischen Ereignis, den telemedizinischen ILOG Listnern (TIL) und den telemedizinischen ILOG Listener Profilen definiert und konzipiert. Nachfolgend werden Konzepte und Methoden zur Verknüpfung eben dieser und zur Realisierung einer modularen, informationslogistischen Verarbeitung entwickelt.

Phase 3: Evaluation des Konzepts

Die Evaluation der in Kapitel 5 entwickelten Konzepte beginnt mit der Überprüfung der Implementierbarkeit eben dieser. Im Rahmen von Kapitel 6 erfolgt hierzu die Implementierung von TiEE, der telemedizinischen ILOG Event-Engine. Auf Basis etablierter Technologien, wie z. B. der Event Processing Engine Esper, werden die erarbeiteten Konzepte umgesetzt.

Phase 3 schließt mit der Evaluation der in Kapitel 5 erarbeiteten Ergebnisse ab. Hierzu erfolgt eine Umsetzung der in Kapitel 2 definierten Use Cases unter Nutzung von TiEE. Es gilt zu zeigen, dass durch den Einsatz von TiEE Implementierungsaufwände zum Aufbau einer Analyseinfrastruktur minimiert werden können und einmal entwickelte Algorithmen und Methoden modular in verschiedenen Szenarien eingesetzt werden können. Die Ausarbeitung schließt nachfolgend mit einer Darstellung der Ergebnisse ab.

2 Einsatz der Informationslogistik in der Telemedizin

2.1 Einleitung

Die Anwendungsdomäne dieser Arbeit ist die Telemedizin, in welcher Patienten unter Nutzung von Vitalwertsensoren, wie z. B. Blutdruck- oder Blutzuckermessgeräten, überwacht werden. Im Rahmen dieses Kapitels wird eine für diese Arbeit geltende Definition des Begriffs Telemedizin eingeführt. Hierzu erfolgen zu Beginn eine Abgrenzung zu anderen weitläufig genutzten Begriffen sowie die Ausarbeitung eines Schemas zur Klassifikation der Anwendungsbereiche der Telemedizin. Aus letzterem wird der Begriff des Telemonitorings herausgearbeitet. Bei der Ausarbeitung gilt es insbesondere aufzuzeigen, wie Kommunikation im Bereich der Telemedizin erfolgt. Abschließend werden auf Basis der erzielten Ergebnisse drei Use Cases definiert, welche im späteren Verlauf der Konzeption, Implementierung und Evaluation zugrunde liegen.

2.2 Entwicklung und Bedeutung des Begriffs Telemedizin

Eine der ersten Definitionen des Begriffs Telemedizin entstammt 1971 von Bird [Bir71], der Telemedizin als die Ausübung einer medizinischen Tätigkeit ohne die übliche Arzt-Patienten-Bindung, sondern über ein Audio-Video-Kommunikationssystem definiert. 1975 ergänzte Bashshur [BAY75] die folgenden zwei charakteristischen Eigenschaften der Telemedizin:

1. Zwischen Patient und Arzt bzw. Arzt und Arzt existiert eine deutliche räumliche Distanz während der medizinischen Konsultation.
2. Die Überbrückung der Distanz erfolgt durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien.

Lange Zeit war gerade die Distanz zwischen den miteinander kommunizierenden Akteuren das dominierende Charakteristikum der Telemedizin. Auch stand der Mediziner als Dreh- und Angelpunkt der Kommunikation im Vordergrund. Das Aufkommen des Internets in den 90er Jahren eröffnete der Telemedizin wie auch den medizinischen Informationssystemen im Allgemeinen neue Kommunikationswege. Dies hatte zur Folge, dass nicht mehr die räumliche Distanz, sondern die grundsätzliche Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zur Überbrückung einer Kommunikationsstrecke im Vordergrund stand. Die wachsende allgemeine Verfügbarkeit von IKT eröffnete dazu auch anderen Akteuren des Gesundheitswesens die Möglichkeit, an telemedizinisch betreuten Prozessen teilzunehmen.

Die World Health Organization (WHO) definiert Telemedizin deshalb seit 1997 als die Übertragung von medizinischen Daten zur therapeutischen, rehabilitativen sowie präventiven Anwendung, wenn die räumliche Distanz eine kritische Größe darstellt [Wor97]. Die Europäische Kommission [Kom08] konkretisiert den Begriff der Telemedizin seit 2008 als die „Bereitstellung von Gesundheitsdiensten mithilfe von IKT für den Fall, dass der Patient und der Angehörige eines Gesundheitsberufs (bzw. zwei Angehörige eines Gesundheitsberufs) nicht am selben Ort sind“.

Haas und Johner [Haa09] wiederum sehen hier in Deutschland den Fokus der Telemedizin in der Telekooperation zwischen Ärzten und definieren hierzu: „Telemedizinische Anwendungen erlauben es, direkte medizinische Expertise unabhängig – zumindest bedingt unabhängig – von Raum und Zeit verfügbar zu machen.“

Nebst der Erweiterung des Telemedizinbegriffs gibt es daneben Strömungen, welche zusätzlich die Begriffe Telehealth und e-Health einführen [DZ06, DC00]. Hierbei wird eine Hierarchisierung wie folgt angestrebt:

- Telemedizin: Es besteht eine Kommunikationsbeziehung zwischen einem Patienten und einem Arzt bzw. zwischen Ärzten zu einer gegebenen medizinischen Indikation. Die Kommunikationsstrecke kann mithilfe von IKT, Videosystemen, Telefon und anderen Systemen überwunden werden.
- Telehealth: Ergänzend zur Telemedizin ist eine Kommunikationsbeziehung von einem Patienten auch zu anderen Gesundheitsberuflern (z.B. Physiotherapeuten) möglich. Der Arzt steht nicht im Fokus der Kommunikation. Zudem erfolgt der Einsatz von Telehealth nicht nur zu therapeutischen Zwecken, sondern auch in Szenarien der Prävention und Gesundheitsförderung.
- e-Health: e-Health ist die allgemeinste Form des Einsatzes von IKT und anderen Technologien zur Förderung der Kommunikation im Gesundheitswesen. e-Health betrachtet die Kommunikationsbeziehungen aus Sicht des E-Business, in dem es Business-to-Business- und Business-to-Customer-Beziehungen gibt. Hierbei finden gesundheitsökonomische Faktoren, Bildung von Communities und soziale Interaktion besondere Aufmerksamkeit.

Duplaga [DZ06] weist jedoch darauf hin, dass insbesondere die Trennung der Begriffe Telemedizin und Telehealth in der Realität nicht gelebt wird.

Ob Telemedizin, Telehealth oder e-Health, allen Ansätzen gemein sind die folgenden Zielsetzungen [Bas02]:

- Verbesserung der medizinischen Versorgung: Die Überbrückung von Distanzen ermöglicht eine Förderung der Gesundheit durch fachlich qualifiziertes Personal an jedem Ort. Die kontinuierliche Interaktion zwischen Patient und Arzt resultiert ebenfalls in einer

Steigerung der Compliance. Außerdem wird durch die intersektorale Vernetzung zwischen den Akteuren im Gesundheitswesen der gemeinsame Wissensaustausch forciert. So kann die Qualität therapeutischer Ansätze gesteigert werden, indem therapeutische Prozesse akteursübergreifend gelebt werden können.

- Überwindung struktureller Veränderungen: Ob Landflucht oder der demographische Wandel, das Gesundheitswesen hat mit vielen strukturellen Veränderungen zu kämpfen. Die drei genannten Ansätze ermöglichen eine Kompensation der negativen Einflussfaktoren.
- Kostenreduktion: Die drei genannten Ansätze haben nicht zum Ziel, Mediziner oder anderes Personal zu ersetzen, sondern deren Kompetenz gezielt verfügbar zu machen. Dies ermöglicht es, Prozesse zu optimieren, indem die Ressource „Fachkraft“ als ein teures Gut eingesetzt wird.

Zur Abgrenzung des Begriffs Telemedizin für diese Arbeit bedarf es im Folgenden einer Benennung von wesentlichen Merkmalen. Im Zentrum der Definition dieser steht die Beantwortung der Frage „Wer kommuniziert wann, was, womit, warum und wohin?“ mit folgender Semantik:

- Das „Wer“: Das „Wer“ hinterfragt die Akteure, welche zumeist Patienten oder Ärzte aber auch Sensoren sind, die ein Datum bzw. eine Information zu einem Empfänger senden.
- Das „Wohin“: Sofern eine Nachricht adressiert wird, muss diese einen Empfänger besitzen. Hierbei kann es sich ebenfalls um Patienten oder Ärzte und weitergedacht ebenfalls IT-gestützte Informationssysteme handeln.
- Das „Womit“: Aus Sicht des (Software-)Technologen ist diese Frage entscheidend. Bezogen auf die Kommunikationstheorie nach Shannon [Sha48] bedeutet dies die Ausprägung von Transmitter (encode) und Receiver (decode) durch Soft- und Hardware zu definieren.
- Das „Was“: An dieser Stelle wird nach der Information, welche übertragen wird, gefragt. Diese kann ein Text, ein Video oder ein Audiosignal sein und entsprechend verschieden sind die Anforderungen an die sendende und empfangende Einheit.
- Das „Wann“: Eine Information muss immer in einem zeitlichen Kontext betrachtet werden. Eine Zustellung zum falschen Zeitpunkt kann den „Wert“ einer Information deutlich senken. Deshalb ist ganz klar zu bestimmen, wann eine Information kommuniziert werden muss.
- Das „Warum“: Zu welchem Zweck wird ein Datum oder eine Information übertragen? Bei medizinischen Daten ist die Festsetzung des „Warum“ schon aus datenschutzrechtlichen Gründen essentiell.

2.2.1 „Wer“ kommuniziert miteinander

Die Kommunikationstheorie nach Shannon [Sha48] definiert einen Informationsaustausch zwischen zwei Akteuren – dem Sender und dem Empfänger. Dem definitorischen Begriff der Telemedizin von 1971 folgend, unterscheidet man ebenfalls zwei Akteurstypen. Dies sind zum einen der Patient und zum anderen der Arzt. Dementsprechend unterscheidet man die sog. D2P- (Doctor-to-Patient) und die D2D- (Doctor-to-Doctor) Kommunikation. Eine zeitgemäße Definition der Telemedizin erfordert jedoch eine Erweiterung des Kreises der Akteure. Des Weiteren wird ein einzelnes Datum auch nicht mehr nur zu einem Empfänger gesendet, sondern an Empfängerkreise verteilt. Deshalb wird eine Klassifikation in drei Klassen (Tabelle 1) vorgeschlagen und durch [Häc10] gestützt.

Tabelle 1: Akteurstypen

Akteurstyp	Beschreibung
Patient/Kunde	Inanspruchnehmender einer telemedizinischen Dienstleistung.
Gesundheitsberufler	In einem Gesundheitsberuf ausgebildete Fachkräfte und somit eine Zusammenfassung der Heilberufler, wie z. B. Ärzte sowie der Gesundheitsfachberufler, wie z. B. Pflegefachkräfte oder Physiotherapeuten.
Dienstleister	Anbieter von Gesundheitsdienstleistungen und Gesundheitsprodukten, die keine Ausbildung in diesem Bereich besitzen, wie z. B. Fitnessstudios.

2.2.2 „Wohin“ wird kommuniziert

Die Kommunikationsrichtung kann in die folgenden drei Typen differenziert werden:

- Gerichtete Kommunikation: Die Rolle bzw. Gruppenzugehörigkeit eines Empfängers ist bekannt, z. B. Überweisung zu einem Facharzt. Der konkrete Name bzw. eine eindeutige Adresse sind jedoch nicht relevant.
- Ungerichtete Kommunikation: Der Gegenstand der Kommunikation wird in einem Langzeitspeicher zugänglich gemacht. Der Zugriff wird durch die Vergabe von Zugriffsrechten gesteuert. Die Nachricht selber besitzt keine Angaben über einen Adressaten.
- Adressierte Kommunikation: Der Kommunikationsgegenstand wird an den Empfänger eindeutig z. B. in Form einer E-Mail adressiert.

2.2.3 „Was“ wird kommuniziert

Abhängig vom Anwendungsbereich einer telemedizinischen Anwendung haben sich eine Vielzahl eigener Begrifflichkeiten, jeweils beginnend mit dem Präfix „Tele-“ etabliert. Diese Begriffe können entsprechend Tabelle 2 vier Grundtypen zugewiesen werden [TCL05, Bas02].

Tabelle 2: Typen telemedizinischer Anwendungen

Name	Beschreibung	Beispiel
Typ 1	Fernmessung und Überwachung von Vitalwerten und anderen sensorbasierten Messwerten.	Telemetrie, Telemonitoring
Typ 2	Anwendung bildgebender Verfahren und Übertragung der Bilder zur Begutachtung und Befundung durch einen Facharzt.	Teleradiologie, Tele dermatologie
Typ 3	Steuerung von medizintechnischen Geräten sowie Begleitung von Operationen über Videokonferenzen aus der Ferne.	Telechirurgie, Teleoperation
Typ 4	Bereitstellung von Inhalten zur Edukation, im Sinne des e-Learnings.	Telecoaching

Zudem existieren die Begriffe Telediagnostik und Telekonsultation. Ersterer wird zumeist in Analogie zur Teleradiologie und anderen bildbezogenen Verfahren genutzt, kann jedoch jegliche telemedizinische Unterstützung der Diagnosefindung meinen. Letzterer ist ebenfalls ein übergreifender Begriff, der den konsiliarischen Aspekt aufnimmt.

Zusammengefasst und gestützt durch [DC00, DZ06, FG02] können drei Hauptkategorien mit den folgenden definitorischen Termini identifiziert werden:

- Store-and-forward: Ein einzelnes Datum wird bei diesem Terminus von einem Sender in einem Speicher abgelegt und kann von einem Empfänger dort abgeholt werden. Hierzu gehören u.a. die Teleradiologie oder die Telepathologie.
- Fernüberwachung: Zumeist wird bei diesem Terminus eine Serie von Daten in einem konstanten Intervall oder durch einen Trigger vermittelt gesendet. Hierzu zählen die Telemetrie und das Telemonitoring.
- Interaktive Dienste: Dieser Terminus beschreibt Dienste, bei denen eine direkte Interaktion zwischen Sender und Empfänger vorliegt. Hierzu gehört z. B. die Telechirurgie.

Aus der Typisierung sowie der Kategorisierung telemedizinischer Anwendungen abgeleitet, ergeben sich verschiedene Arten von Daten. Zunächst können Daten in textbasierte, also durch einen Menschen lesbare Daten, sowie Binärdaten klassifiziert werden. Beispiele für textbasierte Daten sind Dokumente wie ein elektronischer Arztbrief in XML. Bilddaten oder ein EKG gehören wiederum zu den Binärdaten, deren Struktur und Semantik durch einen Menschen nicht direkt erfassbar sind.

2.2.4 „Wann“ wird kommuniziert

Die zeitliche Abfolge des Informationsaustauschs zwischen Kommunikationspartnern wird nach [Tur08] in die folgenden beiden Arten differenziert:

- **Asynchrone Kommunikation:** Die Kommunikation verläuft zeitversetzt. Der Empfänger verbleibt nicht dauerhaft in einer „wartenden“ Position, sondern triggert zu einem ihm passenden Zeitpunkt das Empfangssignal.
- **Synchrone Kommunikation:** Beim Senden oder Empfangen von Daten erfolgt die direkte Synchronisation, d. h. beide Parteien befinden sich jeweils in einer „wartenden“ Position.

Der Faktor Zeit ist gerade in der Telemedizin kritisch. Während bei der synchronen Kommunikation ein direktes Feedback erfolgen kann, ist gerade bei der asynchronen Kommunikation ein nicht erwünschter zeitlicher Verzug möglich. Dieser kann dazu führen, dass Daten ihren Empfänger zu spät erreichen. Gerade in Notfallsituationen kann dies die Gesundheit beeinträchtigen.

2.2.5 „Womit“ wird kommuniziert

Der Austausch von Daten zwischen einem Sender und einem Empfänger unter Überwindung einer Distanz erfordert immer mindestens ein technisches Hilfsmittel, um eben diese zu überwinden. Die technischen Möglichkeiten sind in den letzten zwei Jahrzehnten enorm gewachsen und können an dieser Stelle nicht beschränkt werden. In der Studie „Zukunftsfähige Telemedizin- und AAL-Lösungen“ haben Houta und Meister [HMRR11] jedoch nachgewiesen, dass der Computer zu den am häufigsten eingesetzten Technologien zur telemedizinischen Überwachung von Patienten gehört.

2.2.6 „Warum“ wird kommuniziert

Die Frage nach dem Zweck der Kommunikation eines medizinischen Datums hat gerade im medizinischen Umfeld mehrere Dimensionen. Im Sinne des Datenschutzes und dem Prinzip der Datensparsamkeit sollten diese nur erhoben und verarbeitet werden, sofern eine zwingende Notwendigkeit (Zweckbindung) besteht.

Nach [TCL05] wird der Zweck einer Kommunikation lediglich in zwei Klassen unterteilt; einem medizinischen Zweck (z. B. Diagnostik, Therapie) und einem nichtmedizinischen Zweck (z. B. Administration, Fortbildung).

2.3 Abgrenzung und Definition des Begriffs Telemedizin im Rahmen dieser Ausarbeitung

Basierend auf den vorangegangenen Darstellungen des Begriffs Telemedizin soll im Folgenden eine Abgrenzung dieses Begriffs zur Nutzung innerhalb dieser Arbeit erfolgen. Hierzu werden die verschiedenen telemedizinischen Anwendungstypen klassifiziert. Nachfolgend werden die Use Cases für die relevante Anwendungsklasse telemedizinischer Anwendungen definiert.

Die WHO [Wor10] unterteilt telemedizinische Anwendungen entsprechend Tabelle 3 anhand zweier Parameter. Unterteilt wird zum einen nach den Kommunikationspartnern und zum anderen nach der zeitlichen Abfolge der Kommunikation. Respektive entstehen so vier Anwendungsklassen.

Tabelle 3: Klassifikation nach WHO 2010 [Wor10].

	Echtzeit/Synchron	Store-and-forward/Asynchron
D2D	Teleradiologie	Telecare
D2P	Telemonitoring	Gesundheitsakte

Grigsby [Gri97] schlägt eine Klassifikation telemedizinischer Anwendungen anhand von vier Merkmalen vor. Dies sind die Erkrankung, der Fachbereich, die eingesetzte Technologie und die medizinische Problemstellung. Aus einer technologischen Sicht benennen Reuter und Meister [MKH09, RKM+09] sechs Merkmale. Hierzu gehören u.a. Datenschutz und Datensicherheit, Interoperabilität und die Modularität. Während der erste Ansatz sehr abstrakt formuliert ist, ist der zweite Ansatz stark technologisch.

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine Betrachtung der möglichen Anwendungsklasse entlang der nachfolgend beschriebenen Parameter erfolgen.

Tabelle 4: Beschreibung der Parameter zur Definition von Anwendungsklassen.

Typ	Anwendungstyp, z. B. Telemonitoring, Teleradiologie.
Beschreibung	Beschreibung des Anwendungstyps.
Kategorie	Typ1, Typ2, Typ3, Typ4
Sender	Angabe des Senders, z. B. Patient, Arzt.
Empfänger	Angabe des Empfängers, z. B. Patient, Arzt.
Kommunikationsrichtung	gerichtet, ungerichtet, adressiert
Technisches Hilfsmittel	Welche technischen Hilfsmittel, wie z. B. Vitalwertsensoren, werden eingesetzt.
Daten	Singuläre Werte
Zweck	Beschreibung des Zwecks der Datenübertragung.
Timing	Store-and-forward / Asynchron, Echtzeit / Synchron, Interaktiver Dienst / Pull

Für diese Ausarbeitung wird Telemedizin wie folgt definiert:

Definition 1 - Telemedizin: Telemedizin ist die Bereitstellung von Gesundheitsdienstleistungen über internetbasierte Informations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Heil- und Gesundheitsfachberuflern. Es können verschiedene Anwendungsklassen der Telemedizin entlang der in Tabelle 4 benannten Parameter differenziert werden.

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 1.1 genannten strukturellen Veränderungen im Gesundheitswesen, spielen insbesondere Anwendungen des Telemonitorings eine entscheidende Rolle, wie auch durch eine von der Bundesärztekammer beauftragte repräsentative Umfrage des Instituts Allensbach belegt [Ins10]. Mehr als jeder zweite Befragte ist von den Vorteilen des Telemonitoring zur außerstationären Überwachung von besonders gefährdeten Patienten überzeugt. Zudem wird die Notwendigkeit des Telemonitorings durch die nachfolgenden Aspekte bestärkt:

- **Demografischer Wandel:** Die erhöhte Lebenserwartung der Bevölkerung in Deutschland erfordert, neue Ansätze zur Förderung eines selbstständigen Lebens im Alter zu denken [Böh10]. Getrieben durch das Forschungsfeld Ambient Assisted Living (AAL) spielt insbesondere die Selbstständigkeit im häuslichen Umfeld eine entscheidende Rolle. Assistenzsysteme unterstützen ältere Personen bei ihren täglichen Aufgaben. Die Überwachung des Gesundheitszustands spielt eine entscheidende Rolle [GCJ+10]. Telemonitoring kann hier zum einen Sicherheit durch eine kontinuierliche Überwachung geben und zum anderen Kosten durch unnötige Arztbesuche reduzieren.
- **Medizinische Unterversorgung:** Der Einsatz eines Telemonitorings ermöglicht per definitionem die kontinuierliche Überwachung von Vitalwerten eines Patienten auch über räumliche und zeitliche Distanzen hinweg. Situationen der medizinischen Unterversorgung können so (temporär) kompensiert werden, wie [KP09] feststellen. Gerade im Zuge einer älter werdenden Gesellschaft ist die Kompensation einer Unterversorgung essentiell, um ein Leben im gewohnten häuslichen Umfeld aufrechterhalten zu können, wie in [CRA+09, WFCS09, GDFL06] gezeigt wird.
- **Aufspaltung des Gesundheitsmarktes:** Die Aufspaltung des Marktes in einen ersten und einen zweiten Gesundheitsmarkt forciert ebenfalls eine Trennung der Akteure. Gesundheitsdienstleistungen werden zumeist nicht marktübergreifend erbracht. Über Telemonitoring kann eine Informations- und Kommunikationsbrücke aufgebaut werden und somit Präventions- und Rehabilitationsprozesse marktübergreifend durch Akteure begleitet werden, um die Qualität der Versorgung zu steigern [MHI11, KN08].
- **Technologischer Fortschritt:** Das Telemonitoring ist Teil des technologischen Fortschritts. Im Vergleich zu anderen Typen telemedizinischer Anwendungen kann jedoch ein positiver Kosten-Nutzen-Effekt nachgewiesen werden [Häc10].

Aufgrund des oben skizzierten Potenzials von Telemedizinanwendungen im Bereich des Telemonitorings sollen die zu definierenden Use Cases Problemstellungen aus eben dieser Anwendungsklasse repräsentieren.

Das Telemonitoring wird durch Haas und Johner [Haa09] wie folgt definiert: „Das Ziel ist eine kontinuierliche Betreuung und Überwachung von Risikopatienten, chronisch Kranken und alten Menschen zu ermöglichen und damit die Zahl der unerwünschten Vorfälle mit entsprechenden medizinischen und ökonomischen Folgen zu verringern.“ Respektive ist der Patient ein expliziter Teil der aufgebauten Kommunikationsinfrastruktur. Eberspächer konkretisiert die Übertragung medizinischer Informationen durch die Nutzung von technischen Hilfsmitteln zur Übertragung von Sensorinformationen [EDB+10].

Der wissenschaftliche Dienst des Bundestages [DM11] definiert das Telemonitoring in seiner Anzeige Nr. 15/2011 als telemedizinische Dienste zur Überwachung des Gesundheitszustands eines Patienten unter Nutzung von Messgeräten zur Messung von Vitalwerten. Nachgelagert können solche Daten zur Optimierung von Überwachungs- und Behandlungsprotokollen eingesetzt werden.

Die obigen Definitionen erfordern eine Zusammenfassung zur Nutzung des Begriffs Telemonitoring im Rahmen dieser Arbeit, angegeben in der nachfolgenden Definition:

Definition 2 - Telemonitoring: Das Telemonitoring ist eine Anwendungsklasse der Telemedizin, in welcher der Gesundheitszustand eines Patienten unter Überbrücken von Distanzen von einem Gesundheitsberufler überwacht wird. Zur Überwachung erfolgt der Einsatz technischer Hilfsmittel, um zu einzelnen Vitalwerttypen Vitalwerte zu bestimmen. Die Übertragung der Daten kann synchron (Echtzeitverarbeitung) oder asynchron (partielle Verlaufsbeurteilung) erfolgen.

Anknüpfend an die obige Definition des Telemonitorings soll im Folgenden der Begriff des Vitalwertes definiert werden. Dieser spielt eine entscheidende Rolle, repräsentiert dieser doch die relevanten, durch die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde ILOG-Engine zu verarbeitenden, Daten.

Definition 3 - Vitalwert: Ein Vitalwert repräsentiert die Messung von Parametern am menschlichen Körper zur Bewertung seiner Körperfunktionen bzw. seines Gesundheitszustands. Die zu messenden Parameter werden als Vitalparameter oder, wie im Rahmen dieser Arbeit, als Vitalwerttyp bezeichnet. Beispiele hierfür sind der Blutdruck, der Puls oder die Sauerstoffsättigung.

Ein Vitalwert ist somit weder eine Messung der Umgebungstemperatur, noch anderer sensorischer Parameter, die eben nicht direkt am Körper gemessen werden und direkten Auf-

schluss über den Gesundheitszustand geben. Mit der Taxonomie Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC) existiert ein international anerkanntes Instrument zur Beschreibung von Messwerten (Laborwerten und Vitalwerten). Der Wurzelknoten innerhalb der Taxonomie ist das Element „8716-3 Vital signs“, welches wie folgt definiert ist: „includes blood pressure, body temperature, heart rate, and respiratory rate. It may also include other clinical findings, such as height, weight, body mass index, head circumference, and pulse oximetry.“[Reg13a].

In der nachfolgenden Tabelle 5 erfolgt, angelehnt an die Beschreibung der Anwendungsklassen gemäß Tabelle 4, die Definition des Grundbauplans für die im Rahmen dieser Ausarbeitung zu definierenden Use Cases im Bereich des Telemonitorings.

Tabelle 5: Beschreibung der Anwendungsklasse Telemonitoring zum Aufbau von Use Cases.

Typ	Telemonitoring von Vitalwerten.
Beschreibung	Die zu betrachtende Anwendungsklasse soll die Überwachung eines Patienten durch den Einsatz von Vitalwertsensoren ermöglichen. Die ILOG-Engine übernimmt die Verarbeitung der gemessenen Vitalwerte und verdichtet diese zu bedarfsgerechten Informationen, welche einem Gesundheitsberufler zugestellt werden.
Kategorie	Typ 1: Es erfolgt eine Überwachung des Gesundheitszustands im Sinne des Fernmonitorings.
Sender	Sender sind Patienten bzw. sportausführende Personen.
Empfänger	Empfänger sind Gesundheitsberufler, wie z. B. Ärzte oder Sportwissenschaftler.
Kommunikationsrichtung	Die Kommunikation erfolgt gerichtet oder adressiert, indem entweder eine Klasse von Empfängern oder aber ein konkreter Adressat angegeben wird.
Technisches Hilfsmittel	Überbrückung der Distanz über internetbasierte Kommunikationsstrecken. Genutzt werden zudem technische Hilfsmittel zur Ermittlung von Vitalwerten.
Daten	Die ILOG-Engine soll die Verarbeitung von Vitalwerten ermöglichen.
Zweck	Es handelt sich um eine medizinische Zweckbindung zur Überwachung des Gesundheitszustands des Senders.
Timing	Die Kommunikation zwischen dem vitalwertmessenden System und der ILOG-Engine erfolgt in Echtzeit. Die Verteilung der verdichteten Information an die Empfänger erfolgt asynchron.

Nicht Teil dieser Arbeit sind somit telemedizinische Anwendungen, die:

- Binärdaten oder komplexe Werte verarbeiten, wie z. B. Bilder, Audiodaten oder EKGs.
- Einen nicht medizinischen Zweck, z. B. in administrativen Anwendungsbereichen verfolgen.
- Spezielle technische Hilfsmittel benötigen, die nicht in Tabelle 5 aufgelistet sind.

2.4 Use Cases dieser Ausarbeitung

Basierend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Kapitels werden im Folgenden zwei Use Cases definiert, anhand derer in der weiteren Bearbeitung die Konzepte und Methoden erarbeitet sowie die Evaluation dieser durchgeführt wird.

2.4.1 Use Case: Adipositas-Begleiter

Adipositas (starkes Übergewicht mit einem BMI $> 30 \text{ kg/m}^2$) zählt zu den chronischen Erkrankungen. Im Jahr 2009 waren in Deutschland laut Statistischem Bundesamt ca. 16 % der Männer und 14 % der Frauen betroffen. Von Übergewicht (BMI $> 25 \text{ kg/m}^2$) waren sogar 60 % der Männer und 43 % der Frauen betroffen, mit deutlich steigender Tendenz in den vergangenen zehn Jahren. Neben den enormen Kosten die Adipositas verursacht ist zu berücksichtigen, dass die Erkrankung ein Risikofaktor für viele weitere Erkrankungen, wie bspw. Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Typ-2 Diabetes mellitus ist. Eine effektive Behandlung der Adipositas hat somit nicht nur Einfluss auf die direkte Erkrankung, sondern verringert auch das Risiko von Folgeerkrankungen.

Um dem genannten Problem entgegenzuwirken, können innovative Ansätze wie bspw. der Einsatz telemedizinischer Lösungen betrachtet werden, um Patienten nach der Entlassung aus der stationären Therapie zu unterstützen. Das Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST entwickelt im Rahmen des von der Landesregierung NRW und dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung geförderten Forschungsprojektes „Telemedizin Repository“ auf Basis von diversen Anwendungsszenarien telemedizinische Bausteine. Ein Anwendungsszenario ist eine Applikation auf einem Smartphone, die die oben beschriebene Problematik aufgreift. Gemeinsam mit Therapeuten der Gelderland-Klinik hat das Fraunhofer ISST den „Adipositas-Begleiter“ entwickelt, der die Patienten in der poststationären Phase unterstützt und ihnen in heimischer Umgebung Hilfestellungen gibt. Zusätzlich wird ein telemedizinischer Dienstleister eingebunden und es werden alle acht Wochen Nachsorgetreffen in der Gelderland-Klinik angeboten.

Der Adipositas-Begleiter baut hauptsächlich auf den Bereichen „Ernährung“, „Bewegung“ und „Kritische Situationen“ auf, wobei zu Letzterem auch innere Anspannungen zählen, die ein unzuträgliches Essverhalten begünstigen. Der vierte Bereich „Mein Digi“ fasst Inhalte aus den drei anderen Teilen zusammen und integriert eine Tagebuchfunktion. Zusätzlich werden hier Vitalwerttypen wie **Gewicht**, **Ruhepuls** und **Blutdruck** festgehalten, die später im Rahmen der Studie zu Auswertungszwecken genutzt werden. Zielsetzung ist die schnelle Erkennung von kritischen Trends und Schwellwertüberschreitungen. Hier bedarf es einer zeitnahen Information des telemedizinischen Dienstleisters.

2.4.2 Use Case: FitPit – Das Fitness-Cockpit

Gerätebezogene Trainings sind nicht mehr ein Mittel zur Körperformung, sondern haben sich sowohl in der Prävention wie auch in der Rehabilitation als probate Mittel zur Erreichung einer Menge von Trainingszielen etabliert. Gerade in der Rehabilitation oder auch Tertiärprävention ist die Qualität des Trainings entscheidend, um den Patienten schnell und sicher zu seinen Trainingszielen hinzuführen. Ausgangspunkt eines jeden rehabilitativen Trainings ist eine Diagnose, basierend auf einer Menge von Symptomen. Auf Basis dieser wird ein patientenindividueller Trainingsplan mit definierten Zielen entwickelt [BWMBM+04].

Im Rahmen des Projektes Telemedizin-Repository wird mit FitPit [MSS+13c] eine Anwendung zur Aggregation von Trainings- und Vitalwertdaten zur Optimierung von Trainingsplänen in rehabilitativen Szenarien entwickelt. Hierbei sollen verschiedene Typen von Daten berücksichtigt werden:

- **Trainingspläne:** Trainingspläne sind die Grundlage eines jeden Trainings und geben auf strukturierte Art und Weise die durchzuführenden Übungen vor. Abhängig vom eingesetzten Trainingsgerät (Cardio-/Kraftgerät) können an die Übungsausführung verschiedene Trainingsparameter gebunden sein, z. B. Dauer, Anzahl der Sätze, Gewicht, Range of Motion.
- **Vitalwertmonitoring:** Die Continua Health Alliance unterstützt die Harmonisierung des Datenaustauschs von Vitalwertsensoren, z. B. Blutdruck- oder Pulsmessgeräten. Die Basis bilden die sog. IEEE 11073-Standards. Die Sensoren erfassen die jeweiligen Vitalwerte und übersenden diese über ein Body Area Network per Bluetooth an ein mobiles Endgerät.

Hypothese: Es ist davon auszugehen, dass durch eine Korrelation von Trainingsplänen (gleiche Diagnose, ähnliche Ziele) mit objektiv messbaren Vitalparametern zur Zielüberwachung eine semiautomatische Optimierung von Trainingsplänen erfolgen kann.

Zur Verarbeitung der eintreffenden Vitalwertströme sollen die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Konzepte eingesetzt werden. Gemessen werden **Blutdruck**, **Puls**, **Sauerstoffsättigung** und das **Gewicht**. Die erkannten Trends werden durch FitPit mit dem jeweiligen Trainingsplan des Trainierenden korreliert, um so eine Optimierung des Trainingsverlaufs zu erreichen. Im Falle von kritischen Trends soll eine Benachrichtigung des Trainers erfolgen.

2.4.3 Use Case: Anästhesieüberwachung

Narkosebedingte Komplikationen führen immer häufiger zu nachgelagerten Schäden bei Patienten. Ein Grund ist die steigende Anzahl älterer Patienten, da der Körper sensibler auf operative Eingriffe reagiert. Deshalb sind Sicherheitssysteme notwendig, welche bei der Überwachung der Patienten unterstützen.

Die University of Queensland [LGJ11] hat sich aus diesem Grund der Dokumentation von Vitalwerten während verschiedener operativer Eingriffe gewidmet. Bei insgesamt 32 Eingriffen mit einer durchschnittlichen Länge von 105 Minuten wurden EKG, Sauerstoffsättigung, CO₂, Temperatur etc. protokolliert. Hierzu wurden sog. Patientenmonitore eingesetzt, wie sie in allen Operationssälen zu finden sind. Aufgabe dieser ist es, die o.g. physiologischen Parameter eines Patienten zu ermitteln. Die Daten werden anderen Forschern frei zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden aus den oben beschriebenen Daten die Vitalwerte **Puls**, **Sauerstoffsättigung** und **CO₂-Sättigung** zur Evaluation genutzt. Im Unterschied zu den in den anderen beiden Use Cases beschriebenen Daten handelt es sich hierbei um hochfrequente Daten, welche mit einer Frequenz von 10ms gemessen wurden. Bei der Analyse spielen zum einen die Erkennung von Schwellwerten und zum anderen die Erkennung von charakteristischen Trends, z.B. innerhalb der CO₂-Werte eine entscheidende Rolle. Werden solche erkannt, gilt es den Narkosearzt direkt zu informieren.

2.5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Kapitels wurden die wesentlichen Aspekte der Telemedizin erarbeitet. Zu Beginn wurde hierzu die historische Entwicklung des Begriffs, beginnend mit der Definition von Bird aus dem Jahre 1971, skizziert. Begründet durch die enge Kopplung der Telemedizin mit den Möglichkeiten zur Informationsübertragung, wurden im Verlauf der Jahre verschiedene Definitionen erarbeitet. Respektive gibt es keine allgemeingültige Sicht, jedoch ist die Überbrückung von Raum- bzw. Zeitdistanzen in der Kommunikation zwischen Gesundheitsberuflern und dem Patienten ein wesentlicher Aspekt. Eine ganzheitliche Betrachtung der Telemedizin erfordert die Beantwortung der Frage: Wer kommuniziert wann, was, womit, warum und wohin? Auf Basis der Antworten wurde in diesem Kapitel Telemedizin als die Bereitstellung von Gesundheitsdienstleistungen über internetbasierte Informations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Heil- und Gesundheitsfachberuflern (**Definition 1**) definiert. Zudem wurde aufgezeigt, dass sich innerhalb der Telemedizin verschiedene Formen von Anwendungsklassen, wie z. B. das Telemonitoring oder die Teleradiologie, wiederfinden lassen. Der Fokus dieser Ausarbeitung ist hierbei auf das Telemonitoring zu legen, also die Überwachung des Gesundheitszustand eines Patienten durch einen Gesundheitsberufler unter Anwendung von technischen Hilfsmitteln zur Vitalwerterfassung und unter

Überbrücken von Distanzen (**Definition 2**). Ein Vitalwert ist hierbei definiert als die Messung von Parametern am menschlichen Körper zur Bewertung seiner Körperfunktionen bzw. seines Gesundheitszustands (**Definition 3**). Abschließend wurden die für diese Ausarbeitung relevanten Use Cases definiert. Hierbei sind die wesentlichen Aspekte der Anwendungsklasse Telemonitoring berücksichtigt worden.

Im nachfolgenden Kapitel wird der Stand der Forschung aufgearbeitet. Hierzu gehört eine tiefgehende Betrachtung der Forschungsbereiche Informationslogistik und Complex Event Processing.

3 Related Work

3.1 Einleitung

Im Rahmen der Einleitung in Kapitel 1 wurden die wesentlichen Problemstellungen bei einer telemedizinischen Versorgung von Telemonitoring-Patienten beschrieben. Es fehlt an modularen und standardisierten Mechanismen zur flexiblen Verarbeitung der gemessenen Vitalwerte sowie einer Verdichtung dieser zu situationsabhängig wichtigen Informationen, um dem Problem der Informationsübersorgung zu entgegnen und die Akzeptanz telemedizinischer Lösungen zu stärken. Mit der Informationslogistik (siehe Kapitel 3.2) und dem Complex Event Processing (siehe Kapitel 3.3) existieren zwei Forschungsbereiche, deren Methoden in kombinierter Form möglich Problemlösungen für die beschriebenen Problem- und Fragestellungen hervorbringen können.

Die Informationslogistik wird zumeist mit der Metapher des Transports der richtigen Information zur richtigen Zeit an den richtigen Ort beschrieben. Diese Metapher ist gleichzusetzen mit dem Ziel einer bedarfsgerechten Informationsversorgung. Hierzu bedarf es der Bestimmung der Relevanz einer Information in einer gegebenen Situation mit dem Ziel, die Verteilung irrelevanter Informationen zu vermeiden. Im Sinne des Telemonitorings bedeutet dies, gemessene Vitalwerte derart zu verarbeiten, dass lediglich relevante Muster zu Informationen verdichtet werden und in der richtigen Form dem richtigen Empfänger zugestellt werden.

Das Complex Event Processing stellt hierzu Konzepte zur Modularisierung und Verarbeitung sog. Ereignisse (Events) zur Verfügung. Ein Ereignis beschreibt, dass etwas in der betrachteten Umgebung passiert. Dies kann auch die telemedizinische Messung eines Vitalwerts sein. Indem nun Ereignisse miteinander in Beziehung gesetzt werden, können Muster im zeitlichen Verlauf erkannt werden – respektive höherwertige Informationen.

Nachfolgend werden neben den Basiskonzepten der beiden Forschungsbereiche existierende Methoden eben dieser im Gesundheitswesen aufgezeigt. Abschließen wird, entlang der geschilderten Problemstellungen im Bereich des Telemonitorings, eine kritische Diskussion der fehlenden Bausteine zur Realisierung einer informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten geführt.

3.2 Informationslogistik

Innerhalb dieser Arbeit gilt es, Informationen, die im Rahmen einer telemedizinischen Überwachung entstehen, auf intelligente und effiziente Art und Weise zwischen verschiedenen Kommunikationsknoten zu transportieren. Mit dem domänenunabhängigen Grundproblem beschäftigt sich der Forschungsbereich der Informationslogistik. Die Herleitung einer Begriffsdokumentation erfordert eine genauere Betrachtung des Informations- und des Logistikbegriffs.

3.2.1 Der Informationsbegriff

Den Informationsbegriff einzuführen bedeutet, einen Bezug zur oft zitierten Data-Information-Knowledge-Wisdom (DIKW)-Pyramide aufbauen zu müssen. Wissenschaftlich findet diese insbesondere über Arbeiten von Russel Ackoff aus dem Jahre 1989 ihre Verankerung [Ack89]. Im Folgenden erfolgt eine Aufarbeitung der wesentlichen Begriffe, jedoch keine vollständige retrospektive Betrachtung sowie Diskussion der DIKW-Pyramide.

Nach Ackoff [Ack89] gibt es einen hierarchischen Zusammenhang zwischen Daten, Informationen, Wissen und Weisheit, wie in Abbildung 2 gezeigt, wobei den vier Ebenen und Begriffen nach [Row07, Bod03] die folgenden Definitionen zugeordnet werden können:

- Daten bestehen aus einer Menge von Zeichen aus einem Zeichenvorrat, gebildet durch definierte Syntaxregeln. Weiterhin beschreiben sie Eigenschaften von Objekten, Ereignissen und Umgebungsparametern. Somit sind sie das Ergebnis von Beobachtungen in der realen Welt. Daten haben keinerlei Semantik und liegen in einer nicht weiter zu spezifizierenden Form vor.
- Informationen besitzen Semantik, indem sie verschiedene Daten in Beziehung zueinander setzen. Sie besitzen für den Betrachter innerhalb eines Kontextes der realen Welt Relevanz zur Lösung einer Problemstellung. Mit ihnen schätzt er Sachverhalte ein und beurteilt den Kontext. Hierbei unterstützen die Frageworte: Wer, wann, wie und was. Wird eine Information zerstört, so können die Daten weiter existent sein.
- Wissen entsteht, indem Informationen miteinander verknüpft werden. Dies geschieht durch Erfahrung oder durch Lernen.
- Weisheit ermöglicht es einer Person, durch Perzeption in einer gegebenen Situation Wissen in einer hoch effizienten Art und Weise zur Problemlösung zu arrangieren.

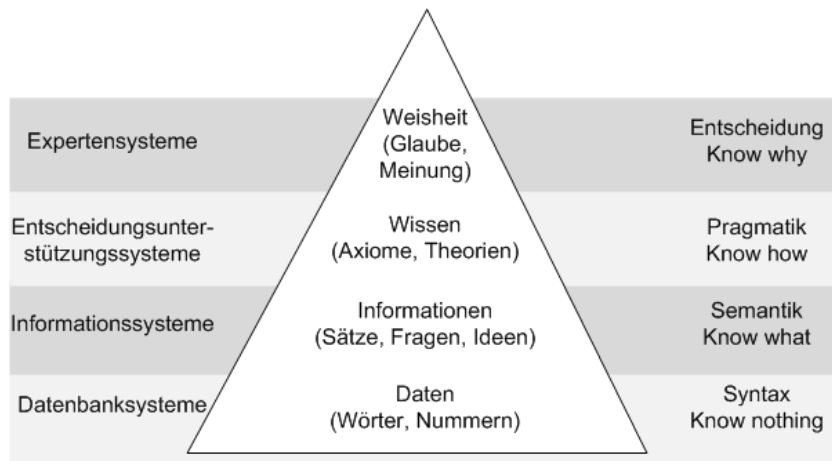


Abbildung 2: DIKW-Pyramide, angelehnt an [Ack89, Bod03, Zel87].

Eine höhere Ebene inkludiert hierbei jeweils die unter ihr liegende. Dementsprechend entstehen aus Daten Informationen, aus Informationen Wissen und aus Wissen Weisheit, indem Filter und Aggregatoren angewendet werden. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass in der wissenschaftlichen Community verschiedenste Modifikationen bzw. Erweiterungen der oben gezeigten Pyramide kontrovers diskutiert werden, wie u.a. Rowley [Row07] zeigt. Die Kontroversität entsteht insbesondere aus den verschiedenen Forschungsfeldern, wie z. B. der Philosophie, den Neurowissenschaften, den Informationswissenschaften oder den Computerwissenschaften, die sich mit den obigen Begriffen auseinandersetzen. Im Sinne der Informationslogistik, steht der Informationsbegriff im Rahmen dieser Arbeit im Vordergrund. Hierzu muss jedoch präzisiert werden, ab wann und warum ein telemedizinisches Datum eine Information ist und wie es sich vom Wissen sowie dem Prozess der Wissensgenerierung abgrenzt.

Nach Fuchs-Kittowski [FK02] wird, wie in Abbildung 3 gezeigt, Information als „Zusammenspiel von Form (Struktur), Inhalt (Bedeutung) und Wirkung (Bewertung) verstanden, aus Sicht der Semiotik also als Triade von Syntax, Semantik und Pragmatik“. Einerseits wird die Funktion einer Information durch die Struktur vorgegeben, andererseits kann Struktur nur dann ihren Zweck erfüllen, wenn sie den Vorgaben der Funktion entspricht. Die Bedeutung einer Information ist somit ein immaterielles Verhältnis zwischen Struktur und Funktion, die jedoch zum Zweck der maschinellen Verarbeitung in ihrer syntaktischen Repräsentation abgelegt werden muss. In Abgrenzung zu den stark technikorientierten, definitorischen Ansätzen betont Fuchs-Kittowski [FK02], Information sei „das Ergebnis aus einem Prozess der Interpretation der Zeichen (-struktur) durch fühlende, sich selbst organisierende lebende und soziale Systeme, in dem die durch die Information gewonnene Bedeutung, durch ihre Wirkung als lebensdienlich oder nicht bewertet wird“.

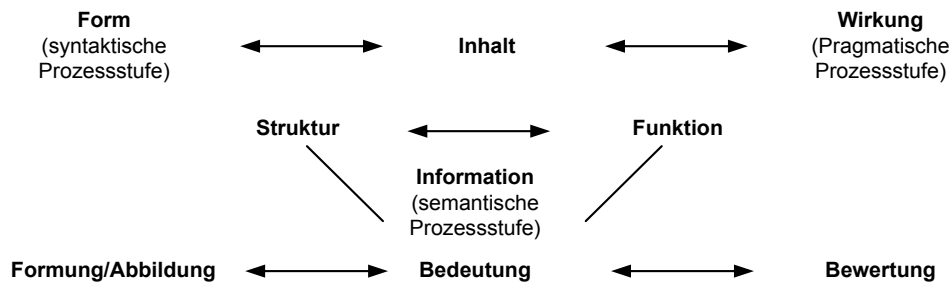


Abbildung 3: Wechselbeziehung zwischen Form, Inhalt und Wirkung nach [FK02].

Ein elementares telemedizinisches Datum ist somit ein aus einer einzelnen Vitalwertmessung entstandener Wert. Gemäß der Definition des Informationsbegriffs nach der DIKW-Pyramide ergibt die semantische Verknüpfung der verschiedenen telemedizinischen Daten eine telemedizinische Information. Fuchs-Kittowski [FK02] betont, dass die Bildung von Informationen nicht nur ein Verknüpfen von Daten ist, sondern ein komplizierter Prozess der aus der Transition, Abstraktion, Interpretation und Kontexteinbindung besteht. Zelyn unterstützt diese Sichtweise für den Übergang von der Information zum Wissen: „while data and information can be generated [...] knowledge and wisdom (being relations) cannot: they are human- and context-dependent“ [Zel87]. Während also die telemedizinische Information aus einer semantischen Verknüpfung, z. B. dem Vitalwert Blutdruck und Puls besteht, so ergibt sich die Kritikalität erst durch die Kombination mit Kontextwissen, z. B. dass es sich um einen Herzinsuffizienzpatienten handelt.

Boisot und Canals [BC04] stellen fest, dass die Unterscheidung zwischen Daten und Informationen auf der einen Seite sowie Informationen und Wissen auf der anderen nicht offensichtlich ist. Sie folgern: „information is an extraction from data that, by modifying the relevant probability distribution, has a capacity to perform useful work on agent’s knowledge base.“ Zur Unterscheidung der Beziehungen zwischen Daten, Informationen und Wissen führen sie das in Abbildung 4 gezeigte Modell ein.

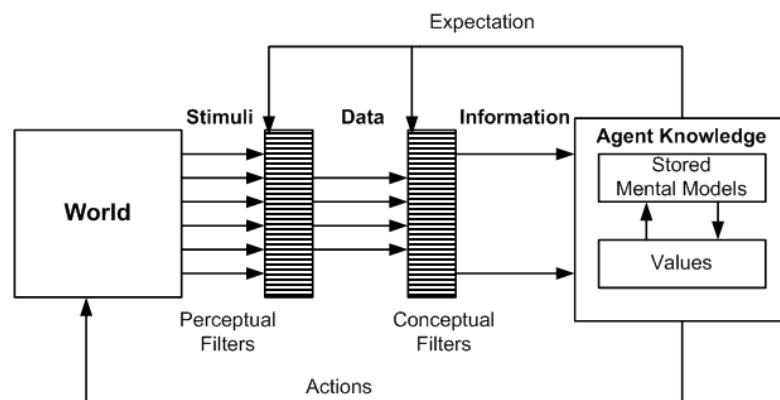


Abbildung 4: Beziehungen zwischen Daten, Informationen und Wissen nach [BC04].

Aus der Umwelt aufgenommene Stimuli werden unter Zuhilfenahme von zwei Filtertypen verarbeitet. Wahrnehmende Filter (perceptual filters) filtern eingehende Stimuli und bilden diese auf registrierte Datentypen ab. Konzipierende Filter (conceptual filters) extrahieren Informationen auf Basis der registrierten, einkommenden Stimuli bzw. Daten. Die Entscheidung bzw. die Anwendung der Filter übernimmt ein entscheidungstragender Agent, der hierzu eine Menge von Vorwissen benötigt.

Durch das Entstehen neuer Informationen kann sich das Wissen des Agenten, im Sinne eines lernenden Systems, anpassen. Bezogen auf eine Menge von telemedizinischen Daten bedeutet dies, dass z. B. verschiedene Vitalwerttypen registriert werden müssen. Der Agent besitzt, bezogen auf einen Kontext (z. B. Behandlungskontext) Wissen, mit welchem er aus der Menge an telemedizinischen Daten eine telemedizinische Information erzeugt. Abhängig vom Informationsgehalt kann diese Information eine Zustandsänderung des Agenten hervorrufen - respektive zu einem lernenden Prozess führen.

Folgernd aus den o.g. Ansätzen zur Definition und Unterscheidung der Begrifflichkeiten der DIKW-Pyramide, definiert diese Arbeit das telemedizinische Datum wie folgt:

Definition 4 – Telemedizinisches Datum: Ein telemedizinisches Datum ist eine Konkatenation von Zeichen aus einem endlichen Zeichenvorrat und beschreibt ein, im Rahmen einer telemedizinischen Überwachung durch ein Ereignis entstandenes Faktum.

Beispiele: Blutdruck = 120/80, Messgerät = Pulsometer

und die telemedizinische Information als:

Definition 5 – Telemedizinische Information: Eine telemedizinische Information ist die Zusammenführung einer Menge von telemedizinischen Daten und besitzt innerhalb eines telemedizinischen Behandlungskontexts für einen Empfänger Relevanz.

Beispiel: Der Patient mit dem Namen Meier hat, gemessen mit dem Blutdruckmessgerät der Firma XY am 01.01.2012, einen Blutdruck von 120/80.

Nebst einer Definition des Informationsbegriffs selbst, bedarf dessen Einführung auch, insbesondere im Hinblick auf eine informationslogistische Verarbeitung, einer Betrachtung

- der Art und Weise, wie Informationen transportiert werden (**Transport**) und
- mit welchen Mitteln Informationen verwaltet und verarbeitet werden (**Verarbeitung**).

Dem **Transport** von Informationen nimmt sich die Informationstheorie an. Nach Werner [Wer08] beschreibt die Informationstheorie mit den Mitteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung

die Darstellung, Codierung und Übertragung von Information. Boisot [BC04] ergänzt „information theory concerns more itself primarily with the challenge of information transmission rather than with the problems of information content or meaning“. Er betont weiter, dass die Informationstheorie, bezogen auf das in Abbildung 4 gezeigte Modell, keine Aussagen darüber trifft, mit welchen Mitteln aus Daten Informationen extrahiert werden.

Grundlagenarbeiten zur Informationsübertragung im Sinne einer physikalischen Größe liefert insbesondere Shannon [Sha48]. Sein Übertragungsmodell sieht dabei folgendes Vorgehen vor: Eine Informationsquelle überträgt eine Nachricht an einen Sender. Dieser moduliert und codiert die Nachricht auf physikalischer Ebene, so dass diese über einen Kanal übertragen werden kann. Das Sendesignal kann durch eine Störquelle negativ beeinflusst werden, indem dem Signal Artefakte hinzugefügt werden. Am anderen Ende nimmt ein Empfänger das verrauschte Signal entgegen und muss nunmehr die ursprüngliche Nachricht herausfiltern und an seinen Bestimmungsort weiterleiten. Werner [Wer08] abstrahiert die stark physikalische Sichtweise und formuliert das in Abbildung 5 gezeigte Konzept. Der beschriebene Informationsfluss beginnt an einer Informationsquelle, welche eine Information an einen Kanal weiterleitet. In Ergänzung zu Shannon gehen nach Werner durch Störeinflüsse nicht nur Informationen verloren, sondern es werden auch neue Informationen hinzugefügt.

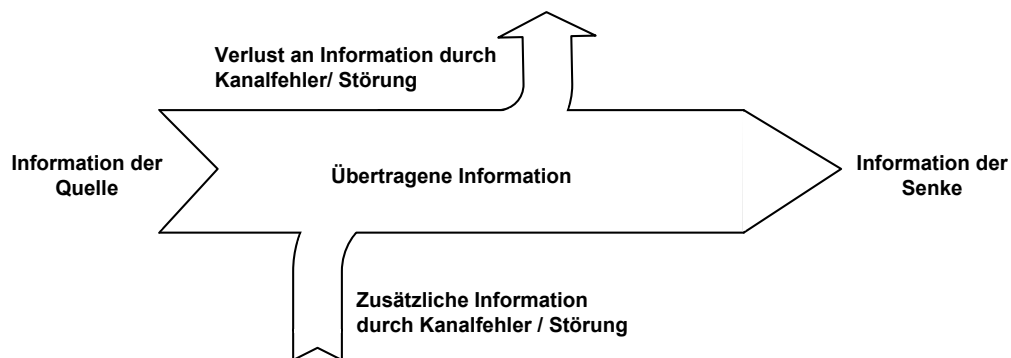


Abbildung 5: Informationsfluss über einen Kanal nach [Wer08].

Bezogen auf den Transport telemedizinischer Informationen über IKT, insbesondere im Hinblick auf einen informationslogistischen Transport, sind Störgrößen nicht nur auf physikalischer Ebene, sondern auch auf einer stärker abstrahierten Prozessebene zu definieren. Gegeben sei eine Informationsquelle, die eine telemedizinische Information in einen Transportkanal emittiert. Auf dem Weg zum eigentlichen Empfänger wird eine Information von unterschiedlichen Personen angefasst und (automatisiert) verarbeitet. Hierbei können zusätzliche Informationen angehängen oder auch abgeschnitten werden.

Definition 6 – Transport telemedizinischer Informationen: Der Transport einer telemedizinischen Information erfolgt von einem Sender über einen Kanal zu einem Empfänger. Der Transport kann durch informationsverarbeitende Mechanismen positiv wie auch negativ gestört werden. Eine negative Störung bezeichnet einen Fehler in der Verarbeitungslogik, welcher den Wert der transportierten Information senkt. Eine positive Störung charakterisiert Verarbeitungslogiken, welche den Wert einer Information steigern.

Im Hinblick auf die Informationslogistik und das Phänomen der Informationsübersorgung (siehe hierzu Kapitel 3.2.3) ist insbesondere der Informationsgehalt einer transportierten Information entscheidend. Nach Werner [Wer08] stehen die Wahrscheinlichkeit und der Informationsgehalt in einem umgekehrten Verhältnis. Diese Annahme resultiert aus der Erfahrung, dass ein häufig auftretendes Ereignis zumeist wenig Information liefert, während ein selten eintretendes Ereignis eine höhere Relevanz mit entsprechend höherem Informationsgehalt besitzt.

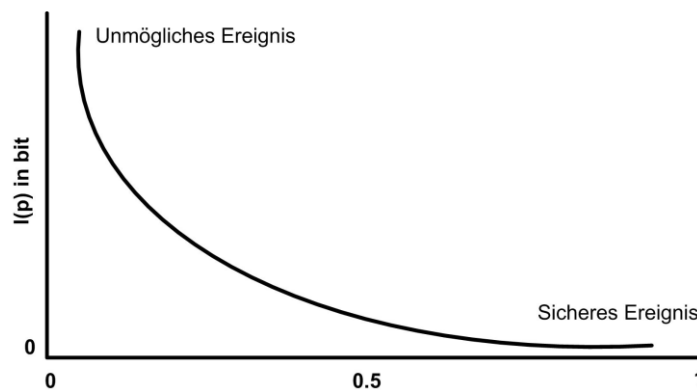


Abbildung 6: Bestimmung des Informationsgehalts $I(p)$, p =Auftrittswahrscheinlichkeit, nach [Wer08].

Wahrscheinlichkeitstheoretisch betrachtet ist der Informationsgehalt des sicheren Ereignisses ($p=1$) somit null und nimmt mit zunehmender Unsicherheit, bis hin zum unmögliche Ereignis ($p=0$), stetig zu (siehe hierzu Abbildung 6).

Definition 7 – Informationsgehalt telemedizinischer Informationen: Der Informationsgehalt einer telemedizinischen Information steigt mit der Relevanz, respektive der Kritikalität der Situation. Eine kritische Situation ist ein selten eintretendes Ereignis mit einer hohen medizinischen Relevanz.

Neben dem Transport spielt die Verwaltung und Verarbeitung von Informationen eine entscheidende Rolle. Daten, Informationen und Wissen sind wichtige Ressourcen für jedes Unternehmen und bei stetig wachsender Menge müssen Systeme entwickelt werden, die eben diese verwalten, auswerten und benutzen [Bod03]. Die immer stärker werdende Vernetzung

von Informationsquellen durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie, forciert ebenfalls den Bedarf nach IT-gestützten Lösungen, um die großen Mengen an Informationen verwalten, verarbeiten und bereitstellen zu können. Nach Fuchs-Kittowski [FK02] ist wissenschaftliches Problemlösen ein gesellschaftlich organisierter Arbeitsprozess. Dies kann durch die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien effektiv unterstützt und durch ein ganzheitliches Management von und für Wissen entschieden gefördert werden.

IT-gestützte Informationssysteme geben dem Nutzer die Möglichkeit, Informationen zu speichern, abzufragen, zu verarbeiten, zu bearbeiten, zu analysieren und zu inferieren. Nach Panyr [Pan86] wird ein Informationssystem als 7-Tupel $IS = (A, W, Q, I, E, U, D)$ definiert, wobei:

- A: Funktion zum Aufbau der Wissensbasis
- W: Interne Wissensrepräsentation, z. B. Datenbank
- Q: Eingabemenge als Suchanfrage
- I: Retrievalfunktion
- E: Ausgabemenge als Problemlösungsvorschlag
- U: Updatefunktion
- D: Dialogkomponente

Ziel des Nutzers ist es, durch Anwendung eines Informationssystems einen Informationsgewinn derart zu erzielen, dass eine Erweiterung des Wissens möglich wird. Entsprechend ihres Einsatzzwecks können Informationssysteme wie folgt klassifiziert werden:

Tabelle 6: Klassifikation von Informationssystemen nach ihrem Einsatzzweck.

Einsatzzweck	Information Retrieval (IR)	Information Retrieval-Systeme zielen darauf ab, den in Form eines Queries formalisierten Informationsbedarf zu erfüllen, indem zu-meist statische Datenquellen im Sinne eines Pull-Mechanismus abgefragt werden [BC92]. Oard bestätigt [Oar97]: „historically information retrieval research has sought to develop systems which use relatively stable information sources to respond to sequences“. Hierbei spielt die korrekte Formalisierung des Informationsbedarfs eine entscheidende Rolle und ist Teil der Forschung. Das Sammeln von, den Informationsbedarf erfüllenden Informationen steht beim IR im Vordergrund.
	Information Filtering (IF)	Aufgabe des Information Filterings ist die intelligente Filterung von Informationsströmen und Belieferung von Personen mit selektierten Informationen im Sinne eines Push-Mechanismus [BC92]. Die zu verarbeitenden Informationen bestehen zumeist aus stark unstrukturierten, textbasierten Daten, welche über vorab definierte Kategorien klassifiziert werden [Oar97].
	Information	Unter Information Mining werden nach Runkler [Run00] Daten-

	Mining (IM)	analysemethoden für numerische und nichtnumerische Daten zusammengefasst. Weiter folgt, dass das Information Mining ein Prozess, zur Datenvorverarbeitung, Filterung, Visualisierung, Transformation und Merkmalsgenerierung ist. Im Rahmen eines IBM White Papers [Tka98] wird Information Mining als „process of extracting previously unknown, comprehensible, and actionable information from any source [...] to make crucial business decisions“ definiert. Respektive ist die Zielsetzung die Erkennung von Informationen innerhalb von Informationen, analog zum Data Mining, also der Erkennung von Daten innerhalb von Daten.
	Information Extraction (IE)	Ein hoher Forschungsanteil im Bereich Information Extraction liegt in der Entwicklung von Systemen zur Extraktion von Informationen aus Freitexten auf Basis von Natural Language Processing. Grishman [Gri10] definiert IE jedoch generalisierter als „the automatic extraction of structured information such as entities, relationships between entities, and attributes describing entities from unstructured sources“. Somit steht die Strukturierung stark unstrukturierter Daten zum Zweck der Informationsgenerierung im Fokus.

Zu betonen bleibt eine in der wissenschaftlichen Community vorhaltende Unschärfe in der Nutzung der o.g. Begriffe. Eine gemeinsame Problemstellung ist jedoch die der Informationsermittlung (information seeking). So subsumiert Oard [Oar97] die Begriffe des Information Retrievals und des Information Filterings unter diesem Begriff. Wilson [Wil99] führt an, dass Information Seeking eine Konsequenz eines Bedarfs „[...] perceived by an information user, who, in order to satisfy that need, makes demands upon formal or informal information sources or services“ ist. Die Umsetzung der Ermittlung von Informationen in einen Prozess der Informationssuche (information search) erfolgt nach Kuhlthau [Kuh91] entlang der sechs Schritte: Initiation, Selection, Exploration, Formulation, Collection, Presentation. Zielsetzung ist es, die Wissenslücke eines Nutzers anhand seines Informationsbedarfs zu schließen.

Folgernd aus den o.g. Definitionen muss ein Informationssystem zur Erreichung einer intelligenten Informationsversorgung den Informationsbedarf (information need) des Nutzers erfüllen. Wesentliche Arbeiten wurden hierzu von Taylor [Tay68] geleistet, welcher die vier Typen visceral, conscious, formalized und compromised von Informationsbedarfen einführt:

- Q1 – Visceral: Nicht geäußelter und kaum wahrnehmbarer Informationsbedarf.
- Q2 – Conscious: Bewusst-gedankliche Beschreibung des Informationsbedarfs.
- Q3 – Formalized: Konkretisierung und Formalisierung des Informationsbedarfs.
- Q4 – Compromised: Aufbereitung des formalisierten Informationsbedarfs zur Anfrage eines Informationssystems. Die Anfrage muss, gemäß den Vorgaben des Informationssystems, wohl definiert sein.

Allgemein wird der viszerale Informationsbedarfstyp synonym zum Begriff des Informationsbedarfs oder des Nutzerinteresses verwendet [Oar97]. Insbesondere in der Informationslogistik ist neben dem Begriff des Information Need insbesondere jener des Information Demand anzutreffen. So unterscheidet Vuori [Vuo06] die beiden Begriffe wie folgt: Ersterer bezeichnet verallgemeinert Informationen, die notwendig sind, um ein Ziel zu erreichen und letzterer die angefragten Informationen, denen eine Problemlösungskompetenz unterstellt wird. Line [Lin74] weist jedoch darauf hin, dass es einer klaren begrifflichen Definition dessen bedarf, was ein Bedarf ist. Hierzu unterscheidet er fünf Subkategorien:

- **Need:** Ein intrinsischer, jedoch nicht offensichtlicher Bedarf, der erfüllt werden sollte, um ein gegebenes Probleme lösen zu können. Nicht jeder Bedarf wird als solcher empfunden (want), kann sich jedoch zu einer Nachfrage (demand) entwickeln.
- **Want:** Eine Information, die ein Nutzer gerne hätte, unabhängig davon, ob diese Information wirklich gebraucht (need) wird. Jedoch nicht zu jedem Bedarf (need) besteht auch der intrinsische Wunsch (want), die betreffende Information zu besitzen.
- **Demand:** Der tatsächlich angewandte Informationsbedarf zur Abfrage benötigter Informationen, von denen man glaubt, sie zu benötigen (want). Ein Nutzer fragt möglicherweise auch Informationen ab, die er nicht braucht (need) oder braucht (need) bzw. wünscht (want) Informationen, die er nicht abfragt.
- **Use:** Die tatsächlich genutzte Menge an Informationen, welche z. B. das Resultat der Realisierung einer Abfrage (demand) ist. Die zur Verfügung stehenden Informationen sind stark von der Zugänglichkeit und Verfügbarkeit eben dieser abhängig.
- **Requirement:** Abhängig vom Kontext kann dieser Begriff im Sinne von Need, Want oder Demand eingesetzt werden.

Die Manifestation des Informationsbedarfs in der Medizin kann entlang verschiedener Informationstypen charakterisiert werden. Smith [Smi96] hat hierzu 1996 eine aggregierte Sicht über dreizehn Studien erarbeitet und betont, dass Informationsbedarfe insbesondere während der Konsultation entstehen. Aufgrund des stetigen medizin-technischen Fortschritts und dem immer stärker werdenden Einzug von Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen im Gesundheitswesen fehlt hier jedoch die Berücksichtigung von z. B. Telemedizin und Telematik.

Im Rahmen dieser Arbeit verwenden wir deshalb den Begriff des Informationsbedarfs wie folgt:

<p>Definition 8 – Informationsbedarf (information need): Der Informationsbedarf oder Information Need ist ein vager, noch nicht offensichtlicher Bedarf, der zur Lösung eines möglicherweise eintretenden telemedizinischen Problems erfüllt werden muss.</p>
--

Der Begriff der Informationsnachfrage wird wie folgt definiert:

Definition 9 – Informationsnachfrage (information demand): Die Informationsnachfrage oder Information Demand ist die formalisierte und in Form einer Anfrage formulierte Abfrage eines Informationsbedarfs. Nutzer drücken ihren Informationsbedarf in Form von Fragen auf Basis von vorhandenem Vorwissen aus.

Um einen Informationsbedarf (need) in eine Informationsnachfrage (demand) umsetzen zu können, muss die Struktur des Bedarfs klar erfasst und analysiert werden können. Nicholas [NM97] schlägt hier ein Framework bestehend aus zwei Klassen vor. Zum einen gilt es die Charakteristik des Informationsbedarfs über die folgenden Attribute: Gegenstand, Wesensart/Eigenschaft, Funktion/Zweck, Betrachtungswinkel, Berechtigung zur Nutzung, Anzahl, Qualität, Herkunft, Dringlichkeit und Verarbeitung/Transport. Zum anderen müssen die folgenden Hürden berücksichtigt werden: Trainingssaufwand, Zeit, Ressourcen, Zugang und Informationsübersorgung.

Inwiefern eine gegebene Information den Informationsbedarf eines Nutzers erfüllen kann, hängt jedoch von der Relevanz der Information ab. Relevanz definiert Saracevic [Sar96] wie folgt: „Relevance is based in cognition; it involves interaction, frequently communication; it is dynamic; it deals with appropriateness or effectiveness; and it is expressed in a context, the matter at hand.“ Aus Sicht der Kognition entsteht Relevanz, indem, unter Berücksichtigung von Intentionen, Beziehungen zwischen Objekten aufgebaut werden. Intentionen wiederum entstehen immer aus einem gegebenen Kontext heraus, somit besteht auch Relevanz nur in diesem Kontext. Die Herleitung von Beziehungen wiederum erfordert eine Bewertung eben dieser zum Zweck der Maximierung der Relevanz. Aus Sicht der Informationssysteme ist die Bestimmung von Relevanz insbesondere im Bereich des Information Retrieval angesiedelt und spielt auch im Rahmen der Informationslogistik zum Zweck einer bedarfsgerechten Informationsversorgung eine entscheidende Rolle. Angewendet auf medizinische Informationen kann Relevanz in ein Verhältnis zum Nutzwert einer medizinischen Information gesetzt werden [SSB94]:

$$\text{Nutzwert einer medizinischen Information} = \frac{\text{Relevanz} \times \text{Validität}}{\text{Aufwand zum Zugriff}}$$

Relevanz ist in diesem Kontext ein Zweiklang aus der grundsätzlichen Verwendbarkeit der medizinischen Information und der Einflussnahme auf einen konkreten Patienten. Die Validität der medizinischen Information ist ein Maß für die Vertrauenswürdigkeit und fachliche Qualität eben dieser. Der Aufwand zum Zugriff auf die Informationsquelle, respektive der Suche eben dieser und der Formulierung einer adäquaten Frage wird unter dem Aufwand zum Zugriff subsummiert. Im Rahmen dieser Arbeit definieren wir Relevanz deshalb wie folgt:

Definition 10 – Relevanz telemedizinischer Informationen: Die Relevanz einer telemedizinischen Information ist ein Zusammenhang aus dem Nutzwert und der Validität der Information sowie dem Aufwand zum Zugriff auf diese. Die Information besitzt hohe Relevanz, wenn sie eine medizinische Situation mit hoher Signifikanz beschreibt, z. B. mit hoher Kritikalität.

3.2.2 Der Logistikbegriff

Der Begriff der Logistik begegnet uns heutzutage in vielen verschiedenen Kontexten. Sei es der Transport von Menschen im Rahmen der Personenlogistik oder der Transport eines Produkts, respektive der Warenlogistik. Nyhuis [Nyh08a] skandiert als wesentliche Kernfunktionen der klassischen Logistik das Transportieren, Umschlagen und Lagern. Offensichtlich ist die Zielsetzung der Logistik somit, Objekte von einem Ausgangspunkt zu einem Ziel zu transportieren und hierbei Faktoren wie Zeit oder andere Ressourcen zu minimieren. Wissenschaftlich findet der Begriff seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts Beachtung. Definitiv greift diese Arbeit die Ergebnisse von Arnold und Isermann [AIK+08] auf, für welche logistische Prozesse „alle Transport- und Lagerungsprozesse, das Be- und Entladen, das Ein- und Auslagern sowie das Kommissionieren von Objekten, mit dem Ziel der bedarfsgerechten Verfügbarkeit eben dieser“ beinhalten. Abstrahiert betrachtet können die folgenden Analogien aufgebaut werden:

- Raumüberbrückung = Transport
- Zeitüberbrückung = Lagerung
- Veränderung der Anordnung = Kommissionierung

Die übergeordneten Ziele der Logistik liegen:

1. in der Kostensenkung der logistischen Aktivitäten,
2. in der Verbesserung von Wert und Nutzen von physischen Produkten und Dienstleistungen sowie
3. in der Verbesserung der Flexibilität logistischer Systeme bzw. Veränderungen in den Umfeldbedingungen.

Der zentrale Gegenstand der Logistik, das logistische Objekt, können Sachgüter, aber auch Personen und Informationen sein. Hierbei besitzen Informationen eine duale Rolle – neben dem logistischen Objekt sind sie ein wesentlicher Bestandteil und eine essentielle Voraussetzung zur Steuerung von Prozessen [AIK+08].

Die Logistik sichert die Verfügbarkeit des richtigen Gutes, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen

Kosten. Der Ablauf der Logistik erfolgt in einem logistischen System. Ein solches dient der Durchführung meist mehrerer logistischer Prozesse im Sinne eines Netzwerks. Die Abgrenzung einzelner Komponenten eines logistischen Systems ist, wie bei jedem offenen System, eine Frage der Sichtweise. Jedes logistische System enthält engere Subsysteme und ist Teil umfassender Supersysteme. Drei charakteristische Merkmale kennzeichnen logistische Systeme [AIK+08]:

- Informationen sind eine wesentliche Voraussetzung für die Steuerung der Prozesse.
- Wesentliches Merkmal ist die ganzheitliche Sicht auf alle Prozesse in einem System.
- Logistik befasst sich mit physischen Systemen und Prozessen, deren Gestaltung und Steuerung sowohl technische, als auch ökonomische Aufgaben umfasst.

Hieraus folgt: Informationen spielen in der Logistik eine wesentliche Rolle. Sie sind eine essentielle Voraussetzung für die Steuerung der Prozesse. Erwachsend aus dieser Bedeutung von Informationen in der Logistik, investieren viele Unternehmen in Systeme, die den Datenfluss beschleunigen, wie z. B. Informations- und Kommunikationssysteme [Nyh08b]. Respektive gibt es zwei Sichtweisen auf eine Kombination der Begriffe Information und Logistik:

1. Informationen für die Logistik: Informationen werden zur Steuerung logistischer Abläufe eingesetzt.
2. Logistik für Informationen (Informationslogistik): Logistische Prinzipien werden zur Steuerung von Informationen genutzt.

Eine grundlegende Analogie zwischen der Informationslogistik und der Warenlogistik im Hinblick auf die Verarbeitung telemedizinischer Werte ergibt sich aus dem „just-in-time (JIT)“-Prinzip: Waren müssen genau dann bereitgestellt werden, wenn der nachfolgende Prozess diese benötigt. Somit entfällt die Notwendigkeit der Lagerung von Waren bzw. in Analogie zur Informationslogistik eine Speicherung von Informationen. Respektive müssen Informationen genau dann zur Verfügung gestellt werden, wenn es einen entsprechend formulierten Bedarf gibt.

Zusammenfassend gilt somit, dass es insbesondere im Bereich des Transports Analogien zwischen der Warenlogistik und der Informationslogistik gibt. Der Aspekt einer bedarfsgerechten Informationszustellung wird in der Informationslogistik jedoch viel stärker betont.

3.2.3 Informationslogistik

Eine Stellungnahme des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) vom 31.3.2011 mit dem Titel „Information Overload? Wie die

Deutschen mit Nachrichtenflut und Medienvielfalt umgehen“ verdeutlicht ein wachsendes Problem: Informationsübersversorgung [Sch11]. Nach einer Studie des IDC mit dem Titel „The Diverse and Exploding Digital Universe“ wird sich die Anzahl der digital zur Verfügung stehenden Informationen im Zeitraum von 2006 bis 2011, mit einem Stand von 281 Exabytes im Jahre 2007, verzehnfachen [Gan08].

Im medizinischen Umfeld besitzen Informationen eine maßgebliche Bedeutung, um eine qualitative Durchführung medizinischer Tätigkeiten gewährleisten zu können. Etwa ein Drittel der Zeit wendet ein Arzt für die Beschaffung, Verarbeitung und Generierung von Informationen auf [Smi96]. Insbesondere die Telemedizin erzeugt große Mengen an Informationen, die durch einen Empfänger, wie einen Arzt oder eine Pflegekraft, bearbeitet werden müssen.

Ob eine Information im jeweiligen Kontext Relevanz besitzt, setzt eine Prüfung aller Daten voraus, so dass es zur sog. Informationsübersversorgung kommt, denn Nutzer verbringen mehr Zeit mit der Verarbeitung nicht angeforderter Informationen im Vergleich zu angeforderten Daten [KR10, Rob10]. Drei Charakteristika sind maßgeblich an der Entstehung einer Informationsübersversorgung beteiligt [KR10]: Aufgrund des medizin-technischen Fortschritts und der Vernetzung durch Telematik und Telemedizin verzeichnet die Menge des auf medizinischen Informationen basierenden Wissens alle 19 Jahre eine Verdoppelung [Wya91]. Für die Informationsrecherche bedeutet diese enorme Steigerung jedoch mehr Zeit aufwenden zu müssen. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 1.1 benannten strukturellen Veränderungen im Gesundheitswesen ist Zeit jedoch ein kostbares Gut. Die Zeit zur Informationsbeschaffung und Verarbeitung ist stark limitiert und darf für einen Arzt nicht mehr als 30 Sekunden in Anspruch nehmen [MYBK06]. Des Weiteren ändert sich mit dem medizin-technischen Fortschritt auch die Charakteristik (Komplexität) der zu verarbeitenden Daten [HW04]. Aufgrund seiner zentralen Bedeutung für die Informationslogistik soll im Folgenden der Begriff der Informationsübersversorgung definiert und dessen Eigenschaften sowie auslösende Faktoren erörtert werden.

Wilson [Wil01] definiert Informationsübersversorgung als „a perception on the part of the individual (or observers of that person) that the flow of information associated with work tasks is greater than can be managed effectively, and a perception that overload in this sense creates a degree of stress for which his or her coping strategies are ineffective“. Er führt jedoch an, dass Technologie alleine nicht als Grund der Explosion an zur Verfügung stehenden Informationen benannt werden darf. Die starke Verteilung und die steigende Anzahl an Informationen durch die Etablierung neuer Technologien verändern kollaborative Arbeitsumgebungen. Ein erhöhter Kommunikationsbedarf sowie die Übertragung der Verantwortung zur Informationsbeschaffung auf den Nutzer, forcieren den Kontrollverlust im Umgang mit Informationen [BHC99]. Die wachsenden Informationsmengen entstehen somit aus dem Zusammenspiel eines gestiegenen Informationsaustauschs, der Globalisierung, neuen Technologie, einer Liberalisierung und Marktöffnung sowie einer Rationalisierung.

Während Wilson in seiner Definition die den Informationsfluss beeinträchtigende Menge an Informationen hervorhebt, generalisiert Bawden [BHC99] wie folgt: „Information overload occurs when information received becomes a hindrance rather than a help when the information is potentially useful.“ Respektive kann nicht nur die Menge, sondern auch die Charakteristik der übertragenen Information zu einer Behinderung einer effizienten Informationsverarbeitung führen, abhängig von den zur Verfügung stehenden Kapazitäten eines Menschen. Dessen Kapazitäten zur Verarbeitung von Informationen sind jedoch beschränkt. In Abbildung 7 ist zum einen der Zusammenhang zwischen der Informationsmenge und der Effektivität der Informationsverarbeitung (Kurve A) und zum anderen das Verhältnis zwischen der Entscheidungsqualität und der Informationsverarbeitung sowie der Informationsmenge (Kurve B) nach [HL99] abgebildet. Für Kurve A gilt: Sofern eine Unterversorgung vorliegt, kann auch keine effektive Informationsverarbeitung durchgeführt werden. Gleichwohl führt auch die Überversorgung zu Effizienzeinbußen in der Verarbeitung. Somit besitzt jedes informationsverarbeitende System ein Optimum zwischen Informationsmenge und Informationsverarbeitungskapazität. Für Kurve B gilt: Die Entscheidungsqualität hat bei einer geringen Informationsmenge sowie einer geringen Informationsverarbeitung ihr Minimum. Dieses tritt jedoch auch ein, wenn eine Überversorgung mit Informationen vorliegt oder aber die Kapazität zur Informationsverarbeitung erschöpft ist. Eine Optimierung der Informationsversorgung würde bedeuten, dass eine ideale Informationsquelle mit relevanten und validen Informationen mit einem nur minimalen Aufwand angesprochen werden kann [Smi96].

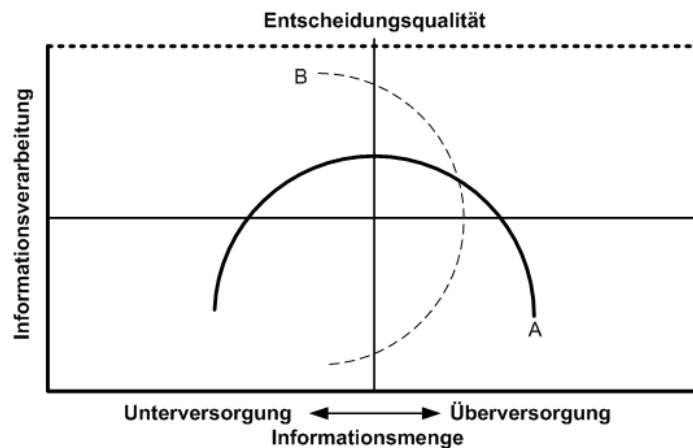


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der Informationsmenge, der Informationsverarbeitungsqualität sowie der Qualität der Entscheidungstreffung nach [HL99].

Resultierend aus der obigen Betrachtung definieren wir Informationsüberversorgung bzw. Information Overload wie folgt:

Definition 11 – Informationsübersorgung (information overload): Informationsübersorgung wird definiert als der Zustand, bei welchem die kognitiven Leistungen zur Informationsverarbeitung aufgrund einer zu hohen Informationsdichte erschöpft sind und die Qualität der Entscheidungsfindung abnimmt.

Zusammenfassend bedarf es somit Lösungen für das Problem der Informationsübersorgung, welche eine intelligente, bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen unter Berücksichtigung der kapazitiven Grenzen des Rezipienten ermöglichen. Nach Bawden [BHC99] können Lösungen für dieses Problem in verwaltende und technische Lösungen kategorisiert werden. Verwaltende Lösungen haben zum Ziel, den Kontrollverlust im Umgang mit Informationen einzuschränken und das kritische Denken zu fördern, d. h. die Fähigkeiten eines Jeden zur Realisierung eines effizienten Zugriffs, einer Bewertung und einer effizienten Nutzung von Informationen zu stärken. Auf technischer Ebene wiederum gilt es, die Suche nach Informationen intelligenter und effizienter zu gestalten sowie den Zugriff, die Abfrage und die Verwaltung zu vereinfachen. Während Hunt [HN97] betont, dass das entstehende zeitliche Delta nur durch den Einsatz unterstützender Informationstechnologien gelöst werden kann, weist Wilson [Wil99] kritisch darauf hin, dass Technologie einerseits eine Lösung des Problems sein kann, und andererseits das Problem forciert wird.

Ein das Problem der stetig wachsenden Informationsüberflutung in der sich stark digitalisierenden Welt adressierender Forschungsbereich ist die **Informationslogistik**. Im Sinne der Logistik gilt es, Information als ein Gut zu betrachten, welches auf möglichst effiziente Art und Weise zwischen Informationsproduzenten und Informationskonsumenten ausgetauscht wird. Anknüpfend an Kapitel 3.2.2 bedient sich die Informationslogistik der Konzepte der Warenlogistik. So müssen Informationen entlang von Raum- und Zeitbrücken transportiert werden und im Sinne des Just-In-Time-Prinzips zur richtigen Zeit am richtigen Ort sein. Im Folgenden soll der Begriff der Informationslogistik definitorisch aufgebaut werden.

Das erste Auftreten des Begriffs Informationslogistik kann auf die Arbeit „Information logistics: Local distribution (delivery) of information“ von Wormley [Wor76] aus dem Jahre 1978 zurückgeführt werden. In dieser definiert dieser Informationslogistik wie folgt: „Information logistics is concerned with the task of getting the right combination of information (products) to the right consumers at the right time to accomplish a successful transaction.“ Die Metapher der „richtigen Information zur richtigen Zeit an den richtigen Ort“ ist ein wesentliches Merkmal aller nachfolgenden Definitionen und betont die Grundziele einer individualisierten, zielgerichteten sowie einer bedarfsgerechten Zustellung. So definiert Lundqvist [Lun07] Informationslogistik auf einer technologischen Ebene als „the application of information and communication technology (ICT) to a situation, organisation, or problem with the purpose of providing the right user with the right information at the right time, and to the right place“. Dinter und Winter [WSD+08] fokussieren eine stark organisatorische Sicht und verstehen

unter Informationslogistik die „Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle der Gesamtheit der Datenflüsse [...] sowie die Speicherung und Aufbereitung dieser Daten“. Hierbei werden nur solche Datenflüsse zur Informationslogistik gezählt, die der Unterstützung von Entscheidungen dienen. Willems [Wil08] setzt sich mit dem Thema der Informationslogistik im Gesundheitswesen auseinander. Er verweist auf das stetige Wachstum an Informationsquellen, eine Anhäufung unstrukturierter Informationen sowie eine exponentielle Steigung an Kommunikationsmöglichkeiten. Er betont, dass ein Arbeiter im medizinischen Umfeld täglich ca. 40 % seiner Arbeitszeit mit der Verarbeitung von Informationen verbringt und definiert das Ziel der Informationslogistik analog zu [DLP03, DLB+01] wie folgt: „to deliver the right information 'product', in the right format, at the right place at the right time for the right people and all this customer demand driven“. In [WWH09] wird auf die Bedeutung und Perspektiven der Informationslogistik im Gesundheitswesen hingewiesen. Als grundlegende Konzepte benennt Willems [WWH09] das Wissensmanagement, Informationssysteme sowie Context-Awareness. Dabei ist das vornehmliche Ziel, die Menge an Informationen zu reduzieren.

Ihren wissenschaftlichen Höhepunkt verzeichnete die Informationslogistik in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts, angeleitet durch Forschungen am Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik [DLP03, DLB+01]. Im Fokus der Forschung stand die nutzergerechte Bereitstellung von Informationen, in Abhängigkeit zu den Kommunikationsmedien und Nutzerpräferenzen. Hierbei wurde die Informationslogistik als ein multidimensionaler Raum beschrieben, bestehend aus:

- **Inhalt:** Eines der wesentlichen Probleme, welches zum Zustand der Informationsüberversorgung führt, ist die hohe Anzahl von zu konsumierenden Informationen mit geringer Relevanz. Respektive gilt es, die Relevanz von Informationen auf Basis des Informationsbedarfs zu bestimmen und Informationen intelligent zu filtern oder zu aggregieren.
- **Zeit:** Der Informationsbedarf ist kein statisches Konstrukt sondern, wie in Kapitel 3.2.1 erörtert, abhängig vom jeweiligen Kontext, in welchem sich ein Nutzer befindet. Die Zeit der Informationsübermittlung spielt somit eine entscheidende Rolle. Veraltete Informationen müssen eine geringe Relevanz besitzen, da sie nicht mehr dem aktuellen Informationsbedarf entsprechen.
- **Ort:** Der sich aus einer Situation entwickelnde Informationsbedarf macht es erforderlich, Informationen an den Ort des Bedarfs zu transportieren. Hieraus ergeben sich die beiden Subdimensionen der Präsentation sowie der Bereitstellung einer Information. Bereitstellung meint, in welcher Form die Information zur Verfügung gestellt werden muss, z. B. das Medium. Präsentation bezieht die Strukturierung und Visualisierung einer Information mit ein.

In Anlehnung an Haselhoff [Has05] bedarf es zusätzlich einer Betrachtung der Dimension „Kontext“. Mithilfe des Kontextes ist es möglich, den Bedarf eines Nutzers modular zu parametrieren, ohne neue Dimensionen einführen zu müssen. Aus Sicht der Wissensgenerierung nähert sich Wilson [Wil01, Wil99] an und benennt die folgenden vier Dimensionen: die Zeit, das Informationsdefizit, das erwartete Ergebnis und eine Brücke zwischen Informationsdefizit und erwartetem Ergebnis.

Retrospektiv betrachtet, muss die Festlegung einer endlichen Menge von Kerndimensionen kritisch bewertet werden. Insbesondere die Entwicklung des Kontextbegriffs zeigt auf, dass

1. die notwendigen Dimensionen abhängig von der Zieldomäne des jeweiligen informationslogistischen Systems sind. So spielen in einem medizinischen Kontext Parameter wie Zeit oder Behandlungskontext eine entscheidende Rolle. Im Rahmen von Unwetterwarnung wiederum spielen der Ort sowie die Möglichkeit der Bereitstellung der Information eine übergeordnete Rolle.
2. der Begriff der Informationslogistik nicht über eine allgemeingültig festgelegte, endliche Menge von Dimensionen definiert werden kann.
3. letztendlich jede Dimension unter dem Begriff des Kontextes subsummiert werden kann.

Zudem ist die Forderung nach einer Informationsbereitstellung zur richtigen Zeit an den richtigen Ort mit den richtigen Inhalten eine Grundanforderung an die Gestaltung eines jeden Informationssystems. Aus diesem Grund wird der Begriff der Informationslogistik im Rahmen dieser Arbeit wie folgt definiert:

Definition 12 – Informationslogistik (information logistics): Unter Informationslogistik wird im Folgenden die bedarfsgerechte Versorgung der Anwender von Informations- und Kommunikationssystemen mit Informationen unter Zuhilfenahme multidimensionaler Modelle verstanden.

Eine umfangreiche Zusammenfassung über den aktuellen Stand der Forschung bietet Haftor [HK09] in einer untersuchenden Studie zur Forschung und den Grenzen der Informationslogistik. Analysiert wurden hierbei 102 Veröffentlichungen aus den Jahren 1978 bis 2009. Insgesamt konnte Haftor zehn Forschungsfelder in der Informationslogistik identifizieren, von denen die folgenden vier auch heute noch eine wissenschaftliche Relevanz besitzen:

- **User Demand Information Supply:** Hierbei handelt es sich um den größten Forschungsbereich, angeleitet von Forschungsarbeiten am Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik. Zielsetzung ist die bedarfsgerechte Informationsversorgung unter Nutzung von Kontextmodellen, Ontologien, Information Retrieval sowie semantischem Matching.

- The Efficiency of Information Flow: Dieser Forschungsbereich, angesiedelt an der Universität Frankfurt, beschäftigt sich mit der Effizienzsteigerung von Informationsflüssen, um mögliche Unterbrechungen in Prozessabläufen zu vermeiden.
- The Cross Functional Supply of Analytic Information: Die Universität St. Gallen arbeitet leitend an der Fragestellung, inwiefern eine Optimierung des Informationsflusses Auswirkung auf Prozesse innerhalb einer Organisation oder zwischen Organisationen haben kann. Hierzu werden ILOG-Strategien erforscht, die sich nahtlos in die organisatorischen Prozesse einbetten lassen, um diese zu optimieren.
- The Process Improvement via Information Flows: Angesiedelt am Nyenrode Research & Innovation Institute wird an dem Zusammenspiel zwischen Informationsfluss und Geschäftsprozess gearbeitet. Eine zentrale Domäne die durch Willems et al. bearbeitet wird ist das Gesundheitswesen.

Die Tatsache, dass von den zehn erhobenen Forschungsfeldern lediglich nur noch in vieren Forschungsaktivitäten zu verzeichnen sind, macht eine kritische retrospektive Betrachtung von Forschung und Relevanz der Informationslogistik notwendig. Die Informationslogistik ist, im Vergleich zu Fachgebieten wie dem Data Mining, weniger grundlagenbezogen und stärker anwendungsorientiert. Wissenschaftliche Assets und Kompetenzen werden den Fachgebieten der Grundlagenforschung und nicht der Informationslogistik zugesprochen. Zur Erörterung soll die in Abbildung 8 gezeigte Skizze der Komponenten eines Informationsverarbeitungssystems dienen.

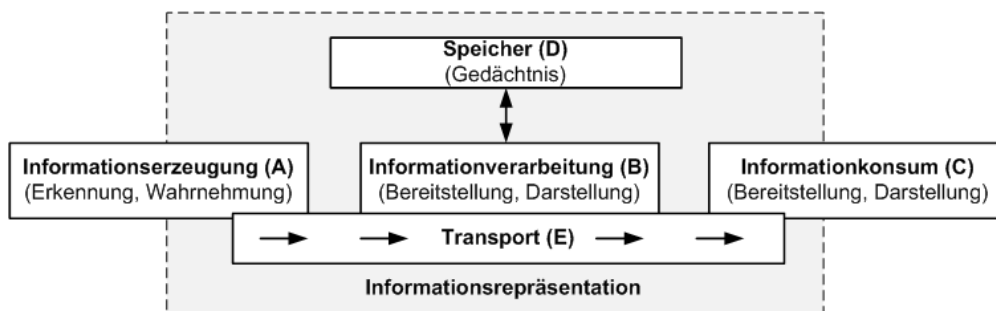


Abbildung 8: Vorgehen eines Informationsverarbeitungssystem, angelehnt an [NS72, Sha48].

Basierend auf dem Modell von Newell, Simon und Shannon [NS72, Sha48] zur menschlichen Informationsverarbeitung, sind die folgenden fünf Komponenten für ein ILOG-Informationsverarbeitungssystem charakteristisch:

- Informationserzeugung: Wie anhand der DIKW-Pyramide erläutert wurde, entstehen Informationen aus Daten d. h. es werden Methoden benötigt, welche eine Verarbeitung eben dieser realisieren. Fachgebiete sind u.a. das Data Mining, Information Mining oder Event und Pattern Recognition.

- Informationsverarbeitung: Bereitgestellte Informationen müssen im Sinne der Bedarfserfüllung verarbeitet werden. Hierzu gehört die Filterung und Aggregation von Informationen unter Zuhilfenahme von Methoden der Fachgebiete der Künstlichen Intelligenz oder des Information Retrievals.
- Informationskonsum: Bedarfserfüllung unter Vermeidung einer Informationsübersorgung bedeutet, dem Konsumenten Informationen in einer leicht erfassbaren und verarbeitbaren Form zukommen zu lassen.
- Speicher: Eine intelligente Informationsverarbeitung benötigt Vorwissen, d. h. das System muss auf vorangegangene Informationen zurückgreifen können. Hierzu werden Speichermechanismen benötigt, wie sie im Fachgebiet der Datenbanken oder der Wissensverarbeitung erforscht werden.
- Transport: Über Transportkanäle werden die einzelnen Komponenten miteinander verbunden. Serviceorientierte Architekturen sind ein Beispiel für eine Möglichkeit der Realisierung eines Informationsaustauschs.

Inhärenter Bestandteil aller obigen fünf Komponenten ist die Notwendigkeit einer Repräsentation von Daten und Informationen.

Wie stark verteilt die Forschung an den o.g. Komponenten erfolgt, wird anhand der Darstellung in Tabelle 7 deutlich. Hierbei wurden die fünf Komponenten gegen eine Auswahl von ACM Special Interest Groups (ACM SIG) aufgetragen.

Tabelle 7: Abbildung der ACM Special Interest Groups auf die Komponenten des Informationsverarbeitungsmodells aus **Abbildung 8**.

	A	B	C	D	E
Accessible Computing (SIGACCESS)			x		
Computer Human Interaction (SIGCHI)	x		x		
Simulation and Modelling (SIGSIM)	x	x			
Health Informatics (SIGHIT)		x	x	x	
Multimedia (SIGMM)			x	x	
Information Retrieval (SIGIR)	x	x			
Artificial Intelligence (SIGART)	x	x			
Management of Data (SIGMOD)				x	x
Knowledge Discovery in Data (SIGKDD)	x	x		x	
Algorithms and Computation Theory (SIGACT)	x	x			
Management Information Systems (SIGMIS)			x	x	
Design of Communication (SIGDOC)					x
Applied Computing (SIGAPP)	x	x	x	x	x
Hypertext and the Web (SIGWEB)			x		x
Mobility of Systems, Users, Data and Computing (SIGMOBILE)			x		x
Sigspatial (SIGSPATIAL)				x	

Hieraus folgt, dass Informationslogistik keinem Fachgebiet klar zugeordnet werden kann. Erarbeitete Lösungen werden innerhalb eines oder verschiedener Fachgebiete vorgestellt und verbreitet. Inwiefern Ergebnisse als ein Asset der Informationslogistik nach außen kommuniziert werden, hängt somit alleinig vom Autor ab. Entsprechend kann auch das Complex Event Processing als eine Möglichkeit angesehen werden, um Daten intelligent zu verarbeiten und zu höherwertigen Informationen zu aggregieren.

3.3 Complex Event Processing

Historisch kann die Betrachtung ereignisbasierter Systeme aus zwei Strömungen entwickelt werden. Erste Ansätze zur Verarbeitung von Ereignissen entstammen dem Publish/Subscribe Interaktionsstil mit dem Ziel der Filterung eingehender Nachrichten, indem die Relevanz einer Nachricht bestimmt wird [RW97]. Hierbei handelt es sich um eine indirekte Adressierung, denn die Entscheidung, wer eine Nachricht erhält, wird durch die Formalisierung des Nutzerinteresses durch den Subscriber erreicht. Auch werden lediglich nur Einzelereignisse berücksichtigt und nicht das Zusammenspiel mehrerer bzw. eine Historie eben dieser. Eine weitere Strömung entwickelte sich aus dem Forschungsgebiet der aktiven Datenbanken. Während klassische Datenbankmanagementsysteme passiv agieren, also lediglich bei aktiver Anfrage von außen, sind aktive Datenbanksysteme reaktiv. Änderungen im Datenbestand lösen z. B. Trigger aus, welche Notifikationen nach außen senden. Solche aktiven Regeln werden zumeist nach dem Event-Condition-Action-Muster (ECA) aufgebaut [CEA11]. Aktive Datenbanken sind in ihrer Welt jedoch geschlossen, so dass Ereignisse außerhalb dieser geschlossenen Welt nicht berücksichtigt werden können. Des Weiteren ist die Ausdrucksfähigkeit über ECA-Regeln, wie in Kapitel 3.5.1 gezeigt wird, begrenzt.

Eine Reflektion der Anforderungen zur Verarbeitung von Vitalwerten durch eine ILOG-Engine auf Basis der in Kapitel 1 formulierten Problemstellungen führt zu der Feststellung, dass die fehlende Adressierbarkeit innerhalb des Pub/Sub-Ansatzes, die fehlende Darstellbarkeit von Historien sowie Zusammenhängen zwischen Ereignissen und eine fehlende Offenheit des Gesamtsystems eben diesen Anforderungen nicht genüge tun. Somit bedarf es eines Ansatzes, der die Konzepte der Publish/Subscribe-Systeme sowie der ECA-Regeln inkludiert und die fehlenden Anforderungen erfüllt.

Durch welche Konzepte und Methoden ereignisbasierter Systeme diese Anforderungen erfüllt werden können, zeigt eine aktuelle Diskussion über den Forschungsstand und die Forschungsfragen der Ereignisverarbeitung im Rahmen des Dagstuhl Seminars on Event Processing im Mai 2010 [CEA11]. Entsprechend einer Darstellung nach Etzion [EN10] gehören hierzu die Entwicklung von Architekturen, Definition von Sprachen, Skalierung und Optimierung, Sicherheit, Pattern-Matching, kontextbasierte Ereignisverarbeitung sowie temporale Fragestellungen. Entscheidende Kriterien für die Auswahl der benötigten Konzepte und Methoden ereignisverarbeitender Systeme sind die Einflussfaktoren

- Zeit/Aktualität: Sowohl die zeitliche Abhängigkeit zwischen Ereignissen wie auch die Aktualität der Benachrichtigung eines Konsumenten können eine entscheidende Rolle spielen.
- Ereignis-Volumen und Typen: Angaben über die Emissionsraten von Ereignissen und die Ausprägungstiefe der Diversität von Ereignistypen bestimmen die Methoden zur Verarbeitung von Ereignissen.
- Typen und Anzahl an Konsumenten: Konsumenten können lose gebunden oder fest adressiert werden.
- Verteilung der Ereignisquellen: Durch die stark gewachsene Vernetzung von Anwendungen steigt der Verteilungsgrad der Ereignisquellen und damit der Bedarf nach übergeordneten Middlewarelösungen und Standardisierung der Ereignistypen.

Das Forschungsgebiet des Complex Event Processings nimmt sich den o.g. Kriterien an und steht deshalb im Vordergrund dieser Ausarbeitung. Durch den steigenden Einsatz von Informations- und Kommunikationssystemen in den letzten Jahren hat die Anzahl der entstehenden Ereignisse, welche verwaltet und verarbeitet werden müssen, enorm zugenommen. Eckert benennt die drei Anwendungsgebiete des Business Activity Monitoring, Sensornetzwerke und Marktanalysesysteme als vorrangige Treiber des Einsatzes von CEP [EB09]. Maßgeblich wurde CEP durch Arbeiten von Luckham [Luc02], Chandy [CCC07] und Bates [BBMS98] geprägt. Ausgangspunkt der ereignisbasierten Verarbeitung ist jede Form von Informations- und Kommunikationssystem, denn jede Nachricht und jede Statusänderung eines Systems stellt ein sog. Ereignis dar. Luckham [Luc02] definiert ein Ereignis als „an object that is a record of an activity in a system“ und generalisiert dieses als „anything that happens, or is contemplated as happening“. Letzteres ist die definitorische Basis der Begrifflichkeiten des Forschungsgebiets CEP, basierend auf Arbeiten von Luckham und Schulte [LS08] und wurde von der Event Processing Technical Society im Jahre 2008 herausgegeben. Hiernach ist ein einfaches Ereignis „an event that is not an abstraction or composition of other events“ und ein komplexes Ereignis „an event that is an abstraction of other events called its members“.

Definition 13 – Ereignis (event): Ein Ereignis E_i ist ein Objekt, das aufgrund einer Zustandsänderung des betrachteten Gesamtsystems erzeugt wurde und diese Zustandsänderung protokolliert.

Ereignisse können über Beziehungen miteinander verbunden sein. Typen solcher Beziehungen, die Luckham [Luc02] benennt, sind die Zeit (time), Ursache (causality) und Aggregation (aggregation):

- Zeit: Unter der Voraussetzung eines zentralen Zeitgebers könne Ereignisse zeitlich geordnet werden. Hierzu werden diese mit einem Zeitstempel versehen. Da es verschiede-

ne Zeitstempel gibt, die protokolliert werden können, z. B. Zeitpunkt der Erzeugung oder Zeitpunkt der Erkennung durch ein Pattern, gibt es auch mehrere mögliche Zeit-Beziehungen.

- Ursache: Über die Ursache-Beziehung wird eine Abhängigkeit zwischen Ereignissen festgelegt, sobald die Voraussetzung für ein Ereignis E_2 das vorherige Auftreten eines Ereignis E_1 ist.
- Aggregation: Voraussetzung für ein Ereignis E_i ist das Vorhandensein einer Menge von Ereignissen $E_m - E_n$, welche durch E_i aggregiert werden. Ein anderer Ausdruck hierfür ist „komplexes Ereignis“.

Die o.g. Beziehungen erfüllen des Weiteren die mathematischen Eigenschaften der Transitivität und der Asymmetrie und bilden eine partielle Ordnung der Gesamtmenge an Ereignissen, auch „partially ordered set of events (POSET)“ genannt [Luc02, LS08].

Ein komplexes Ereignis ist ein aus Einzelereignissen aggregiertes Ereignis, welches sämtliche Aktivitäten der Einzelereignisse referenziert [LS08].

Definition 14 - Komplexes Ereignis (complex event): Ein komplexes Ereignis C_i ist eine Aggregation von elementaren Ereignissen E_i . Die elementaren Ereignisse sind Teil des komplexen Ereignisses, weil sie entweder in einem kausalen Zusammenhang stehen oder aber ein definiertes Muster (Pattern) erfüllen.

Die Verarbeitung von Ereignissen wird als Ereignisverarbeitung (event processing) bezeichnet, also „computing that performs operations on events“ [EN10]. Entsprechend lässt sich nach [LS08] die folgende Definition des Begriffs Complex Event Processing herleiten: „A template containing event templates, relational operators and variables. An event pattern can match sets of related events by replacing variables with values.“ Eine wichtige Eigenschaft des CEPs ist die kontinuierliche und zeitnahe Verarbeitung von Informationsströmen [CM11].

Definition 15 - Complex Event Processing (CEP): Das Complex Event Processing bezeichnet die Verarbeitung von einfachen und komplexen Ereignissen unter Nutzung einer Complex Event Processing Engine. Durch Anwendung von Regeln können Ereignisse gefiltert, aggregiert oder Muster erkannt werden.

Ein wesentliches Mittel des CEPs ist der Einsatz sog. Pattern, also der Beschreibung von Mustern im zeitlichen Verlauf eines Ereignisstroms. Es werden drei Kategorien binärer relationaler Operatoren unterschieden: Strukturelle Operatoren, logische Operatoren und mengenbezogene Operatoren. Über strukturelle Operatoren werden Zusammenhänge zwischen POSETs ausgedrückt, wie z. B. P_1 before P_2 . Zu den logischen Operatoren gehören die aus

der Logik bekannten Ausdrücke wie AND, OR, NOT. Zuletzt ermöglichen die mengenbezogenen Operatoren die Beschreibung z. B. von Teilmengenbeziehungen oder Vereinigung [EN10, Luc02].

Definition 16 - Pattern: Mithilfe eines Pattern P_i können Zusammenhänge zwischen Ereignissen ausgedrückt werden. Unter Nutzung struktureller, logischer und mengenbezogener Operatoren werden die im Ereignisstrom zu erkennenden Muster beschrieben.

Die Verarbeitung innerhalb des CEPs kann durch zwei Konzepte modularisiert werden: Zum einen sind dies die Event Processing Agents (EPA) und zum anderen die Event Processing Networks (EPN). Nach [Luc02] ist ein Event Processing Agent „an object that monitors an event execution to detect certain patterns of events“ und nach [EN10] „a software module that processes events“. Pattern innerhalb des EPA überwachen die Menge an Ereignissen. Sobald ein Muster erfüllt wird, wird ein Trigger ausgelöst, welcher eine Aktion wie z. B. die Erzeugung eines neuen Ereignisses zur Folge hat.

Definition 17 - Event Processing Agent (EPA): Ein Event Processing Agent ist eine entkoppelte, logische Einheit und Teil der Ereignisverarbeitung.

Entsprechend ihrer Funktionsweise werden drei Typen von EPAs unterschieden: Filter reduzieren die Anzahl an Ereignissen, Aggregatoren fügen Ereignisse zusammen und Detektoren erkennen und signalisieren die Erfüllung eines Patterns.

Die Kommunikation zwischen verschiedenen EPAs wird über Event Processing Networks ermöglicht. Somit wird ein Netzwerk aus leichtgewichtigen, regelbasierten Systemen, den EPAs, aufgebaut. Etzion [EN10] beschreibt diese erweitert als „a collection of event processing agents,[...],connected by a collection of channels“.

Definition 18 - Event Processing Network (EPN): Die logische Verknüpfung von EPAs zur Realisierung eines Flusses von Ereignissen geschieht über Event Processing Networks.

Die Verteilung bzw. Bereitstellung von Ereignissen erfolgt über Ereignisströme [FTR+10]. Ein Ereignisstrom ist eine linear geordnete Sequenz von Ereignissen. Normalerweise erfolgt eine temporale Anordnung, jedoch können beliebige Beziehungen zwischen den Ereignissen definiert werden.

Definition 19 – Ereignisstrom: Eine z. B. zeitlich vollständig geordnete Menge von Ereignissen wird als Ereignisstrom bezeichnet.

Sofern eine temporale Anordnung der Ereignisse vorliegt, so ist das nachfolgende Axiom einzuhalten.

Definition 20 - Ursache-Zeit-Axiom: Wenn ein Ereignis E_1 notwendige Vorbedingung zur Erzeugung eines Ereignisses E_2 ist, dann ist immer $\text{Zeitstempel}(E_1) < \text{Zeitstempel}(E_2)$.

Die Formalisierung des Vorgehens zur Verarbeitung von Ereignissen erfolgt unter Nutzung von Event Processing bzw. Query Languages (EPL/EQL). Im Folgenden wird lediglich der Begriff EPL genutzt.

Definition 21 – Event Processing Language (EPL): Eine Event Processing Language ermöglicht die Formalisierung von Regeln zur Verarbeitung von Ereignissen. Hierzu stehen die im Rahmen von **Definition 16** genannten Operatoren zur Verfügung. Die Mächtigkeit einer EPL ist von der jeweiligen Implementierung des Regelsystems abhängig.

Die vorgenannten Konzepte werden in implementierter Form durch Event Processing Engines (EPE) zur Verfügung gestellt.

Definition 22 – Event Processing Engine (EPE): Eine Event Processing Engine stellt sämtliche Konzepte (EPA, EPN, EPL) zur Realisierung des Complex Event Processings in implementierter Form zur Verfügung.

Entsprechend ihres Einsatzzwecks können Systeme zur Verarbeitung von Ereignissen in verschiedene Klassen unterteilt werden [EN10]:

- **Monitoring:** Das System überwacht die eintreffenden Ereignisse und generiert einen Hinweis, sobald ein vorab festgelegter Zustand erreicht wird.
- **Informationslogistik:** Basierend auf den eintreffenden Ereignissen wird bestimmt, welche Information zu welcher Zeit in welcher Form an welchen Ort übermittelt werden muss.
- **Diagnostik:** Zielsetzung ist die Erkennung von kritischen Zuständen in einem System auf Basis der eintreffenden Ereignisse.
- **Vorhersage:** Solche Systeme versuchen das Auftreten eines Ereignisses vorherzusagen, zumeist mit dem Ziel, dieses zu vermeiden bzw. abzuschwächen.

Nach Etzion [EN10] zeichnen ereignisverarbeitende Systeme zwei wesentliche Eigenschaften aus: Zum einen können durch ein hohes Maß an Abstraktion die Operationen zur Verarbeitung von Ereignissen, also die Logik, getrennt werden von der Anwendungslogik. Zum anderen ermöglicht die Entkopplung ein hohes Maß an Verteilung. Bruns et.al [BD10] ergänzen diese Eigenschaften wie folgt:

- **Aktualität:** Basierend auf der Erkennung und Analyse von Ereignissen und Ereignismustern zum Zeitpunkt ihres Auftretens, entsteht eine Echtzeitfähigkeit, mit der eine relativ zeitnahe Reaktion möglich wird.
- **Agilität:** Aufgrund der extrem losen Kopplung bzw. Entkopplung lassen sich bspw. neue Ereignistypen und Ereignisquellen relativ einfach in das bestehende System integrieren. Es resultiert eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Infrastruktur (technische Agilität). Im medizinischen Bereich, in dem immer neue Erkenntnisse gewonnen werden, wird eine hohe fachliche Agilität benötigt, die durch das Abändern von deklarativen Regeln zur Laufzeit ermöglicht wird.
- **Effizienz:** Die Leistungsfähigkeit des CEPs basiert auf den verfügbaren und zur Massenvorverarbeitung konzipierten EPEs und einem guten Entwurf des EPNs. Auf diese Weise lassen sich bis zu mehrere hunderttausend Ereignisse pro Sekunde verarbeiten.
- **Robustheit:** Basierend auf dem geringen Grad der Abhängigkeit zwischen den Systemkomponenten können bestehende Komponenten geändert, gelöscht und neue Komponenten hinzugefügt werden, ohne das z. B. Ereignisquellen ebenfalls abgeändert werden müssten. Änderungen sollen sich also nur an wenigen und klar abgegrenzten Stellen auswirken.
- **Wartbarkeit:** Die Wartbarkeit eines solchen Systems verbessert sich aufgrund der nur leicht zusammenhängenden Komponenten und der deklarativen Wissensrepräsentation mittels Ereignisregeln.
- **Skalierbarkeit:** Aufgrund der konsequenten logischen Trennung und der möglichen physikalischen Verteilung, basierend auf der verteilten Ereignisverarbeitung über EPA-Knoten in einem EPN, bietet dieser Architekturansatz alle Voraussetzungen für eine physikalische Verteilung und damit ebenfalls für eine gute Skalierbarkeit.

Im Folgenden erfolgt eine Darstellung des Stands der Forschung der für diese Ausarbeitung relevanten Teilbereiche des Complex Event Processings:

1. Zu Beginn erfolgt eine Bezugnahme des CEPs zur Domäne Telemedizin bzw. weiter gefasst auch medizinischen Fragestellungen.
2. Es folgt die Darstellung aktueller Ansätze implementierter Event Processing Engines und der zugrunde liegenden Event Processing Languages.
3. Nachfolgend werden Methoden zur Beschreibung von Architekturen ereignisbasierter Systeme gemäß dem Stand der Forschung aufgearbeitet. Hierbei liegt ein Fokus auf der Berücksichtigung der Verteilung von Ereignisquellen und den damit verbundenen Interoperabilitätsproblemen.
4. Abschließend werden aktuelle Entwicklungen zur Berücksichtigung temporaler Einflussfaktoren beschrieben.

3.3.1 Bezug des Complex Event Processings zur Domäne Telemedizin

Eine Übertragbarkeit der Problemstellung steigender Informationsmengen auf die Domäne Medizin ist offensichtlich gegeben, wie in Kapitel 1.1 herausgearbeitet wurde. Inwiefern CEP als eine Lösungsmöglichkeit eingesetzt werden kann, wird in verschiedenen wissenschaftlichen Ausarbeitungen erarbeitet. In [CEA11] wird pointiert der Zusammenhang zur Informationslogistik hergestellt: „Disseminating and distributing is also about getting the right information to the right consumers at the right time.“

Foley und Churcher [CF10] empfehlen den Einsatz von CEP gerade für den Bereich der medizinischen Sensoren. Mithilfe einer ereignisbasierten Verarbeitung können große Datenmengen von Ereignissen in Echtzeit aggregiert und korreliert werden. Die Basis hierfür stellen SAPHE, eine Standardisierungsbestrebung zur drahtlosen Vernetzung von medizinischen Sensoren, sowie die CEP-Engine Esper dar. Im Vergleich zu anderen Standardisierungsbestrebungen, wie z. B. der Continua Health Alliance, liegt der Fokus jedoch auf der technischen Vernetzungs- und nicht auf der Datenebene. Die aufzuarbeitenden Daten befinden sich hierbei in den proprietären Datenformaten der Hersteller, womit die Übertragbarkeit auf andere Anwendungsszenarien eingeschränkt wird.

Eine szenarienübergreifende Nutzung von Konzepten zur Ereignisverarbeitung kann nur durch ein hohes Maß an Standardisierung erreicht werden. Gerade im Umfeld der Telemedizin ergeben sich stetig neue Szenarien bzw. eine Veränderung dieser durch den Einsatz neuer Sensoren. HL7 als weltweiter Standard zur Beschreibung medizinischer Daten spielt hier eine entscheidende Rolle [Hin07, Ben10]. Erste Ansätze, welche den Ereignis-Begriff mit dem Datenformat HL7 zusammenführen, zeigen Hripcsak et al. [HCJ+96] im Sinne eines klinischen Ereignisses. Alles, was ein Patient im Rahmen einer Behandlung tut, bzw. alles was mit ihm passiert, kann als ein solches interpretiert werden. Die Erkennung relevanter Muster von Ereignissen bezeichnet Hripcsak als „Clinical Event Monitor“. Ergebnis dieses Prozesses ist der Versand einer Nachricht an einen vorab definierten Empfänger. Die formale Basis des beschriebenen Ansatzes bilden ECA-Regeln. Das benötigte Wissen zur Auswertung von Bedingungen wird durch Formalisierung mithilfe der Arden-Syntax, welche auch HL7 zugrunde liegt, bereitgestellt. In [HBSP03] konkretisiert Hripcsak die Ereigniserkennung (event discovery) am Beispiel der Erkennung von Wechselwirkungen zwischen Medikamenten bzw. grundsätzlicher Medikamentierungsfehler. Zum einen werden HL7-basierte Nachrichten ausgewertet und zum anderen unstrukturierter Text in Patientenakten. Letztere sind nicht kodiert und können dementsprechend nicht direkt durch einen Algorithmus zur Erkennung von Ereignissen verarbeitet werden. Deshalb muss eine Vorverarbeitung durch Technologien des Natural Language Processings (NLP) erfolgen. Er formuliert als Ausblick, dass nur durch einen konsequenten Einsatz von HL7, insbesondere der Clinical Document Architecture (CDA), die Qualität der Ergebnisse und die Geschwindigkeit der Verarbeitung verbessert werden kann.

An dieser Stelle setzten Hazlehurst et al. [HFSS05] an und formulieren mit MediClass einen Ansatz zur Erkennung und Klassifikation klinischer Ereignisse auf Basis von HL7 CDA. Die Clinical Document Architecture unterscheidet drei Ausbaustufen (Levels) zur Beschreibung der Strukturierungstiefe von Daten. Die heute eingesetzte CDA Level 2 strukturiert zwar Basisdaten wie die Patientenstammdaten, jedoch werden große Teile der Daten noch als Freitext beschrieben. Diese unstrukturierten Textpassagen werden auch hier mithilfe von z. B. NLP analysiert und nachträglich durch Anwendung von Taxonomien (insbesondere der UMLS) kodiert. Die Umsetzung in Ereignisse erfolgt über die Anwendung eines wissensbasierten Ansatzes. Sowohl Hazlehurst [HFSS05] als auch Hripcsak [HCJ+96] betonen, dass eine maximale Strukturierung der Daten ohne Anwendung von Methoden des NLP anzustreben ist.

Weber et al. [WLMQ10] zeigen einen Ansatz basierend auf STRIDE [LFHW09], der Stanford Translational Research Integrated Database und Esper zum Zweck des Event Stream Processings. Zielsetzung von Weber ist die Echtzeitüberwachung klinischer Ereignisse von Patienten auf Intensivstationen. Hierbei handelt es sich um Ereignisströme, welchen HL7-Nachrichten zugrunde liegen. Sobald ein Ereignis-Trigger innerhalb des Datenstroms erkannt wird, erfolgt die Benachrichtigung vorab definierter Akteure, wobei die Definition von Eskalationsstufen nicht vorgesehen ist. Ebenfalls auf Esper basierend zeigen Støa et al. [SLG08] einen Ansatz zum Online-Monitoring von streambasierten medizinischen Ereignisquellen. Im Fokus steht die Erweiterung zur Verarbeitung von EKG-Daten bei Herzpatienten. Esper bzw. die zugrunde liegende Sprache erfüllt die grundlegenden Anforderungen (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.2).

Angewendet auf das Forschungsfeld des Ambient Assisted Living, welches eng mit der Telemedizin verbunden ist, zeigt Søberg [SGP10] mit CommonSens, wie das Complex Event Processing zur Verarbeitung von Ereignissen im häuslichen Umfeld eingesetzt werden kann. Im Vordergrund steht die Verarbeitung von Ereignisströmen der eingesetzten Sensoren. Ein Ereignis repräsentiert hierbei einen Zustand oder aber eine Zustandsänderung der Sensoren der Wohnung. Komplexe Ereignisse werden aus diesen primitiven Ereignissen gebildet. Die konzipierte Architektur besteht aus drei Modellen, dem „event model“, dem „environmental model“ und dem „sensor model“. Er betont die Notwendigkeit des Domänenwissens. Der Vorteil seines Ansatzes ist eine einfache Erweiterbarkeit durch Abstraktion von Hardware, Einsatzort und Formalismen.

Xu [XWSH10] wiederum argumentiert, dass der Einsatz von Sensoren im Bereich AAL häufig anzutreffen ist. Hierüber können kritische Situationen bzw. Situationen, die einer proaktiven Unterstützung bedürfen, erkannt werden. Zur Erkennung eben solcher Situationen in Echtzeit schlägt Xu den Einsatz von CEP vor und greift hierzu auf die Open Source-Implementierung der Etalis CEP Engine zurück. Diese inkludiert zwei deklarative Sprachen, zum einen die Etalis Language for Events (ELE) und die Event Processing SPARQL (EP-

SPARQL). Aus Sicht von Xu [XWSH10] ermöglicht der Einsatz von CEP auf Basis von Etalis die Spezifikation von kausalen oder temporalen Beziehungen zwischen Ereignissen. Ebenfalls betont er die Notwendigkeit einer standardisierten Plattform und verweist hier auf Potenziale durch eine Integration der o.g. Techniken in die openAAL-Plattform. Als weiteren Ausblick formuliert er den Bedarf nach Ansätzen zur Modellierung von Situationen mithilfe einer Sensor-Ontologie und komplexen Ereignis-Pattern.

Wang [WRWE10] bearbeitet das Problem der Echtzeitverarbeitung von Gesundheitsdaten mithilfe der „Active Complex Event Processing“-Technologie. Hierzu werden ein Modell sowie eine Erweiterung einer Regelsprache vorgeschlagen, um auf Zustandsänderungen des Gesamtsystems in Echtzeit reagieren zu können.

3.3.2 Event Processing Engines und Sprachen

Zum Zweck der Verarbeitung von Ereignissen werden Sprachen benötigt, die z. B. das Filtern von Ereignissen und/oder das Erschließen von Informationen aus Ereignissen zum Zweck der Aggregation ermöglichen. Diese werden auch als Event Processing Languages, kurz EPL, bezeichnet. Luckham [Luc02] setzt hier z. B. auf RAPIDE-EPL, während an der Cornell University [BDG+07] eine auf der Cayuga Algebra basierende Sprache eingesetzt wird. Eine genauere Betrachtung von EPLs lässt verschiedene mathematische bzw. algorithmische Vorgehensweisen erkennen, die nach Etzion [EN10] in sechs Klassen eingeteilt werden: Regelbasierte Sprachen auf Basis von Produktionsregeln, regelbasierte Sprachen auf Basis von aktiven Regeln, regelbasierte Sprachen auf Basis von Logikregeln, Einsatz imperativer Programmiersprachen, streamorientierte Sprachen auf Basis von SQL-Erweiterungen, sonstige Sprachen zur Verarbeitung von Streams. Die Beantwortung der Frage, welche Sprache für eine gegebene Domäne hinreichend ist, hängt somit von einer Menge von Parametern ab.

Bui [Bui09] benennt die folgenden Parameter zur Bestimmung der Ausdrucksstärke von Event Processing Languages:

- **Filterung:** Häufiges Ziel des CEPs ist die Minimierung der Ereignisanzahl durch Filterung der irrelevanten z. B. anhand des Typs.
- **Ereignisfenster:** Um die Komplexität der Verarbeitung zu reduzieren, werden jeweils nur kleine Ausschnitte aus einer Menge von Ereignissen betrachtet. Beispiele sind die Ausgabe aller Events zwischen zwei bestimmten Eventtypen oder die zehn aktuellsten.
- **Extraktion und Aggregation von Ereignisdaten:** Neben den Basisparametern eines Ereignisses werden zumeist zusätzliche Daten angehängt. Auf diesen Daten können dann z. B. Minimum- oder Maximum-Funktionen angewendet werden.

- Konjunktion und Disjunktion: Eine Konjunktion ist die Darstellung aller Mitglieder eines komplexen Ereignisses, während die Disjunktion eine Aufspaltung in die Einzelergebnisse eines komplexen Ereignisses ist.
- Temporale Beziehungen: Angelehnt an Allen [All83] sind die 13 temporalen Relationen: before, meets, overlaps, starts, during, finishes, die jeweils inversen Operationen sowie equals zu berücksichtigen.
- Kausale Beziehungen: Dieser Beziehungstyp befindet sich noch in einer intensiven wissenschaftlichen Diskussion. Letztendlich geht es um die Darstellung von Beziehungen der Form: When A caused B then B has reference to A.
- Negation und Zählbarkeit: Hierüber werden das „nicht Auftreten“ von Ereignissen sowie die Anzahl des Auftretens ausgedrückt.
- Auswahl und Konsum von Instanzen: Bei der Verarbeitung von Ereignissen sollen diese meist nur einmal auf ein Pattern erfolgreich angewendet werden können. Hierzu dient die Markierung als konsumiert. Die Selektion hilft, bestimmte Instanzen zur Anwendung eines Patterns präferiert zu betrachten.

Eckert und Bry [EB09] bestätigten die Extraktion von Daten, die Komposition, die Berücksichtigung zeitlicher Zusammenhänge sowie die Akkumulation als grundlegende Anforderungen an eine EPL. Des Weiteren schlagen sie eine Trennung in deduktive (ereigniserzeugend) und reaktive (aktionsbezogene) Regeln vor. Nach Eckert und Bry [EB09] sowie Bui [Bui09] können drei Typen von EPLs unterschieden werden: datenstrombasierte Sprachen, kompositionsbasierte Sprachen (Konjunktion, Sequenzen, Negation) und produktionsregelbasierte Sprachen. Bedeutung und Leistungsfähigkeit der jeweiligen Sprachtypen sind bei den o.g. Quellen nachzulesen.

Eine Event Processing Language ist zumeist inhärent mit einer Event Processing Engine, welche im Sinne einer Referenzimplementierung fungiert, verknüpft. Im Folgenden sollen die derzeit am häufigsten im Einsatz befindlichen nicht kommerziellen Event Processing Engins und deren zugrunde liegenden EPLs vorgestellt werden, wobei hier kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

Esper ist eine 2004 initiierte Open Source-implementierte Engine, die sowohl ESP- als auch CEP-Fähigkeiten besitzt [Esp11]. Zur Verarbeitung von CEP verwendet die Engine Zustandsmaschinen, während ESP durch Delta-Flow Netzwerke abgebildet werden. Esper gehört wohl zu den am weitesten verbreiteten Open Source-Engins, auch in Produktivsystemen. StreamCruncher fokussiert die Verarbeitung von Ereignisströmen. Zur Korrelation von mehreren Strömen werden Zustandsmaschinen eingesetzt. Des Weiteren unterstützt StreamCruncher das Filtern, Aggregieren sowie Partitionieren von Ereignissen. Es ist möglich, Echtzeitdaten mit historischen Daten zu kombinieren. ruleCore basiert auf einer Anwendung von ECA-Regeln, welche über graphbasierte Algorithmen, die aus dem Feld der

aktiven Datenbanken erwachsen sind, ausgewertet werden [SB05]. Die hier eingesetzte Sprache wird als ruleCore Markup language (rCML) benannt. Der Algorithmus der Engine bildet die Regeln in einem Baum ab, bei welchem die Knoten die Operatoren und die Ereignisse die Blätter darstellen. Sobald der Wurzelknoten als wahr ausgewertet wird, ist ein gültiges Pattern erkannt. Das Cayuga System der Cornell University fokussiert die Verarbeitung von Ereignisströmen in Hochdurchsatzsystemen [BDG+07]. Hierzu wird eine auf nichtdeterministischen endlichen Automaten mit Speicher (NFA^b) basierte Sprache, auch Cayuga Event Language (CEL) genannt, eingesetzt. Mit SASE+ stellen Diao et al. [DIG07] eine Sprache zur Verarbeitung von Ereignisströmen vor, welche den Gesetzmäßigkeiten der Kleeneschen Hülle folgen. SASE+ ermöglicht so die Abfrage einer endlichen, jedoch zu Beginn noch nicht definierbaren Menge von Ereignissen.

Die Liste der existierenden Event Processing Engines sowie eingesetzten Event Processing Languages ist beliebig fortführbar. An dieser Stelle soll deshalb auf Arbeiten von Bui [Bui09] verwiesen werden, welcher eine Evaluation von neun Sprachen und den zugrundeliegenden EPEs durchgeführt hat. Das Ergebnis fasst er wie folgt zusammen: „no language could fully express all our 10 queries (although Esper came very close)“. Esper konnte neun von zehn Anfragen, welche homolog zu den o.g. Parametern zur Messung der Ausdrucksstärke formuliert wurden, erfolgreich ausführen und beantworten. Ebenfalls gehört Esper zu den wenigen Systemen, die auch einen Einsatz in Produktivsystemen besitzen.

3.3.3 Architektur und Konzepte verteilter Systeme

Luckham und Frasca [LF98] sehen CEP als ein starkes Konzept zur Extraktion von Informationen aus verteilten Systemen unter Anwendung von Ereignis-Pattern, kausalen Ereignishistorien, Ereignis-Filtern und Ereignis-Aggregation. Die Auswahl sowie die Notwendigkeit zur Anpassung von Konzepten des CEPs steht in Abhängigkeit zur Kommunikationsebene, wie sie über das OSI-Schichtenmodell definiert werden (siehe Abbildung 9).

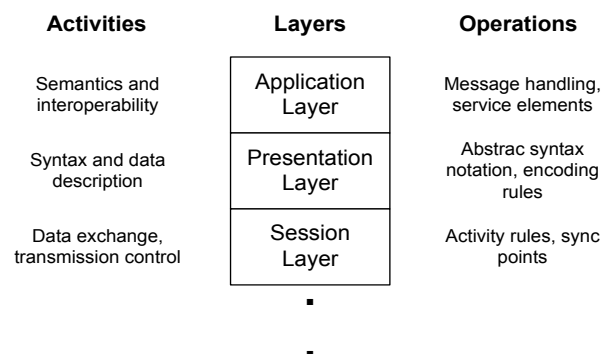


Abbildung 9: Zusammenhang von Ansätzen des CEPs zum ISO OSI-Modell in Anlehnung an [LF98]. Hier sind lediglich die für diese Ausarbeitung relevanten oberen Ebenen abgebildet.

Etzion [EN10] sieht zukünftig einen verstärkten Forschungsbedarf auf Ebene des Application Layer hinsichtlich einer Standardisierung von Ereignissen. Die fehlende Interoperabilität ist auch für Bates [BBMS98] eines der vorrangigsten zu lösenden Probleme bei Betrachtung verteilter Anwendungen. In der Anwendung ereignisbasierter Ansätze sieht er die Chance, das Internet als ein groß dimensioniertes Plug&Play System zu nutzen. Seine Vision: „using any class of event from any components to drive any other components by injecting any action“.

3.3.4 Temporalität

Die Zeit ist in all unseren Aktivitäten allgegenwärtig [Vil94]. Insbesondere im medizinischen Alltag spielt Zeit eine entscheidende Rolle. So spiegeln z. B. Therapiepläne den zeitlichen Verlauf des medizinischen Handelns wieder. Patientenkurven sind eine Auftragung von Vitalwerten gegen die Zeit. Eine zu spät eintreffende Information kann den Gesundheitszustand eines Patienten gefährden. Zur Diagnosestellung und Therapieoptimierung wird immer der zeitliche Verlauf eines Patienten bewertet. Seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts sind verstärkte Forschungsaktivitäten zu verzeichnen, die sich mit Konzepten zur temporalen Repräsentation in entscheidungsunterstützenden Systemen beschäftigen. Grundlegende Vorarbeiten für sämtliche Konzepte sind die Definitionen der Zeit-Primitiven, zum einen Intervall-basiert nach Allen [All83, All91] und zum anderen Punkt-basiert nach [Vil82, McD82]. [CS97] ergänzen, dass Zeit linear, verzweigend oder zirkulär sein kann.

Auch bei der Verarbeitung von Ereignissen spielt die Zeit eine entscheidende Rolle. Fülöp et al. [FTR+10] schlagen eine Zweiteilung des Zeitbegriffs vor. Zum einen existieren sog. Zeitfenster (window), respektive ein Intervall, in welchem sich eine Menge von Ereignissen befinden kann. Zum anderen besitzt ein einzelnes Ereignis selber Zeitinformation. Nach Mihaeli und Etzion [ME04] sind dies der Zeitpunkt des Auftretens eines Ereignisses, der Erkennung eines Ereignisses sowie der Zeitpunkt der Speicherung bzw. Verarbeitung des Ereignisses. Die Zeitachse wird hierbei als eine linear geordnete, unendliche Menge an Zeitpunkten definiert. Ein Überlappen ist nicht möglich, da die Spezifikation der Dauer nicht vorgesehen ist. Ein komplexes Ereignis wiederum kann eine Dauer besitzen, da durch die diesem Ereignis zugrunde liegenden einfachen Ereignisse ein Intervall beschrieben werden kann.

Hripcsak et al. [HCJ+96] definieren den Begriff der temporalen Ereignisse, wobei Zeit hier absolut zu einem Zeitgeber, relativ zu einem anderen Ereignis und periodisch definiert wird. Die Auswertung temporaler Zusammenhänge über eine Event Processing Language setzt ein ereignisüberreifendes Verständnis von Zeit voraus. Zumeist geschieht dies über einen zentralen Zeitgeber. Gao et al. [GYJO10] bearbeiten das Problem des räumlich-zeitlich verschiedenen Auftretens von Ereignissen und erläutern notwendige Konzepte zur Aggregation eben dieser. Hierzu wird der Begriff eines atomaren Ereignisses definiert, welches temporale wie

räumliche Informationen beinhaltet. Basierend auf Allens Algebra werden fünf temporale Beziehungen zwischen den atomaren Ereignissen eingeführt. Mithilfe dieser Beziehungen können komplexe Ereignisse erzeugt werden, indem z. B. Zeitfenster definiert werden. Der Einfluss temporaler Aspekte auf regelbasierte Event Processing Engines wird durch Walzer et al. [WSL07] diskutiert. Durch Erweiterung des Rete-Algorithmus wird eine temporale Verarbeitbarkeit von Ereignissen erreicht.

3.4 Projekte mit ähnlicher Zielsetzung

Die folgenden drei Projekte besitzen eine hohe Affinität zum Thema der Ereignisverarbeitung und dem Einsatz von HL7 und somit auch zu dieser Ausarbeitung.

3.4.1 Stride

Stride steht für Stanford Translational Research Integrated Database Environment und ist ein Forschungsprojekt der Stanford University [LFHW09]. Die Basis bildet ein Data Warehouse für klinische Daten, in welchem sich mit Stand 2011 1,6 Millionen demographische Daten von Patienten befinden, 15 Millionen klinische Kontakte, 25 Millionen ICD9- kodierte Diagnosen u.v.m. Die Modellierung zur Ablage der klinischen Informationen erfolgte mithilfe des HL7 Reference Information Model (RIM).

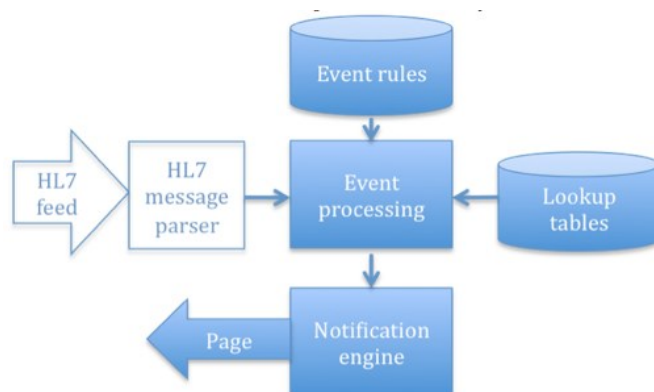


Abbildung 10: Verarbeitung von HL7-Nachrichten in Stride aus [Sta11b].

Durch diese Repräsentationsform erhalten die Daten ein hohes Maß an Struktur, werden semantisch aufgewertet und können somit leicht durch Computersysteme verarbeitet werden. Eine weitere semantische Anreicherung geschieht durch die Annotation der Daten mithilfe von Vokabularen wie z. B. ICD oder SNOMED. Doch nicht nur die Ablage basiert auf HL7, denn die Kommunikation mit Stride erfolgt über HL7 V2.x Nachrichten, welche in die über HL7 RIM definierte Struktur übersetzt werden (siehe Abbildung 10) [Sta11b]. Auf Basis der eingehenden Nachrichten werden Ereignisse erzeugt und durch eine Event Processing Engine verarbeitet. Hierzu dienen Regeln als Triggerpunkte auf dem Ereignisstrom. Werden sol-

che Regeln erfüllt, dann resultieren hieraus Notifikationen an einen fest definierten Empfänger.

3.4.2 SAPHIRE

Ein relevantes EU-Projekt ist „SAPHIRE - Intelligent Healthcare Monitoring based on Semantic Interoperability Platform“ [HNW+06, NHG+08, NHGH06, LDO+08]. Gefördert im Rahmen des 6. Framework Programms mit einer Höhe von 2 Millionen Euro, wurde das Projekt vom 01.01.2006 bis 30.06.2008 abgearbeitet. Die beteiligten Projektpartner stammen aus Frankreich, Griechenland, Türkei, Rumänien sowie Deutschland. Letzteres ist durch das Institut für Informatik OFFIS e.V. vertreten. Zielsetzung des Projekts war die Entwicklung eines intelligenten Healthcare Monitoring-Systems. Hierbei überwachen intelligente Agenten sowohl die in Form von Patientenakten dokumentierte Historie eines Patienten, als auch drahtlos angebundene Vitalwertsensoren, um eine Entscheidungsunterstützung (CDS) für Ärzte zu realisieren.

Als Grundlage dafür, ob ein über die Agenten ermittelter Wert Relevanz hat oder nicht, werden medizinische Leitlinien eingesetzt. Eine Notifikation im Falle einer hohen Relevanz kann über die Kommunikationskanäle SMS, E-Mail sowie Messenger erfolgen. Die Wichtigkeit einer Standardisierung sämtlicher Daten und Informationen wurde durch Nutzung von IHE-Profilen, HL7 CDA sowie GLIF berücksichtigt. Die im Rahmen des SAPHIRE-Projekts entwickelte Architektur wird über zwei Pilot-Anwendungen evaluiert. Dies sind zum einen ein Homecare-Szenario und zum anderen ein Klinik-Szenario.

3.4.3 SOPRANO und openAAL

SOPRANO ist ein von der EU gefördertes Projekt zur Schaffung einer offenen Plattform für Ambient Assisted Living-Lösungen. Mithilfe dieser Plattform soll es gelingen, Dienste, Produkte und Erfahrungen aus der Entwicklung von AAL-Lösungen zu integrieren und somit dem Problem der Diversität im Bereich AAL entgegen zu wirken. Hierbei spielt nicht nur die technische Interoperabilität eine Rolle, sondern auch die semantische Integration von Einzelösungen, um ein reibungsloses Zusammenspiel von unabhängig voneinander entwickelten Systemteilen [SWKB09] zu gewährleisten. Einflüsse existieren somit aus den Bereichen der Hausautomation, der agentenbasierten sowie monolithisch intelligenten Systeme.

Die Basis der semantischen Verknüpfung bildet eine Ontologie. Der Context Manager sammelt und abstrahiert auf Basis dieser Kontextinformationen. Hierbei spielt auch die Anwendung von Technologien aus anderen Bereichen wie der Künstlichen Intelligenz eine Rolle, um eine Aggregation verschiedener Informationsquellen zu ermöglichen. Mithilfe des Procedural Manager wird das Systemverhalten berechnet. Trigger ist ein eintretendes Ereignis unter definierten Kontextbedingungen. Der Composer sorgt nun für die Erzeugung einer

Reaktion auf das eingetretene Ereignis. Dabei wählt er aus der Semantic Service Registry passende Dienste aus.

3.5 Abgrenzung zu anderen wissenschaftlichen Forschungsfeldern

Erwachsen aus der Problemstellung einer effizienten Verarbeitung medizinischer Daten und nachfolgenden Bereitstellung der Ergebnisse als Informationen ist in den letzten zwei Jahrzehnten eine Vielzahl von Technologien entstanden. Im Folgenden werden die Stärken und Schwächen eben dieser dargestellt.

3.5.1 Was unterscheidet Ereignisverarbeitung von ECA-Rules und Publish/Subscribe-Systemen?

Aufgrund der Entwicklungsgeschichte ereignisbasierter Systeme und des Complex Event Processings werden in einem Atemzug zumeist die Anwendung von Event Condition Action-Regeln in aktiven Datenbanksystemen und Publish/Subscribe-Systeme genannt. Auch wenn beide große Einflüsse auf das Feld der ereignisbasierten Systeme hatten, so können beide Forschungsbereiche zusammen nur einen Teil der Anforderungen zur ereignisbasierten Verarbeitung telemedizinisch ermittelter Vitalwerte abdecken. In Abbildung 11 wird dieser Sachverhalt durch Schnittmengenbildung der Forschungsbereiche visualisiert.



Abbildung 11: Abgrenzung der Ereignisverarbeitung von den Forschungsbereichen der ECA-Regeln (links) und der Publish/Subscribe-Systeme (rechts) in Anlehnung an [CEA11].

Wie das Schnittmengenverhältnis der ECA-Regeln zeigt, sind diese vollständig im Konzept der Ereignisverarbeitung enthalten. Jedoch geht diese durch die Möglichkeit zur Definition komplexer Ereignisse, mächtigerer Bedingungen deutlich darüber hinaus. Es steht nicht mehr das einzelne Ereignis im Vordergrund, sondern das Zusammenspiel vieler, aus unterschiedlichen Systemen stammender Ereignisse, welche über Pattern miteinander in Verbindung gebracht werden.

Publish/Subscribe-Ansätze sind nicht vollständig mit den Konzepten der Ereignisverarbeitung abbildbar. Im Vordergrund der Publish/Subscribe-Systeme steht die lose Bindung zwischen Sender und Empfänger. Der Publisher sendet Ereignisse und der Subscriber registriert

sich für ein Abonnement eines Publishers. Hieraus ergibt sich eine N-M-Verbindung zwischen Publisher und Subscriber. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Veröffentlichung von Ereignissen über den Publisher ohne jegliche Adressierung erfolgt. Hier gehen die Konzepte und die Mächtigkeit der Ereignisverarbeitung deutlich über die des Publish/Subscribe-Ansatzes hinaus.

Somit können weder ECA-basierte Ansätze noch Publish/Subscribe-Systeme die in Kapitel 1.2 benannten Problemstellungen und Zielsetzungen vollständig bedienen.

3.5.2 Abgrenzung zu Clinical Decision Support (CDS), agentenbasierten Systemen (ABS) und wissensbasierten Systemen (WBS)

Zur Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit bedarf es insbesondere einer Betrachtung der Künstlichen Intelligenz. Schon in den frühen 70er Jahren wurden mit Internist-1 von Miller [MPM82] oder MYCIN von Shortliffe [Sho74] Systeme zur Entscheidungsunterstützung vorgestellt. Während die damaligen Systeme noch unter dem Begriff der Expertensysteme firmierten, setzt sich heutzutage der Begriff des Clinical Decision Supports (CDS), also der Entscheidungsunterstützung, durch. Nach [Ber09] ist das Ziel von CDS die bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen durch intelligente Filterung und Wissensverarbeitung und nicht die Nachbildung des Denkens und Handelns eines Mediziners. CDS kann als eine domänenfokussierte Instanziierung eines Intelligent Decision Support Systems (IDSS) verstanden werden. Ein IDSS wiederum basiert auf der Definition eines Decision Support Systems (DSS), welches nach Turban und Aronson [TA00] eine Verbesserung der Entscheidungsfindung zum Ziel hat. Ein IDSS kann somit als ein, um eine Art Intelligenz ergänztes DSS verstanden werden, womit z. B. Entscheidungen mit Unsicherheiten möglich werden [FMEm06]. Das grundlegende Vorgehen der in dieser Arbeit zu entwickelnden wissenschaftlichen Konzepte, sieht eine Reduzierung von an einen Arzt gerichteten Informationsmengen vor. Respektive soll er in der Selektion von für ihn relevanten Informationen unterstützt werden. Somit ist eine Verbindung zum Forschungsfeld CDS klar gegeben.

Mit dem Begriff des Medical Agent-based IDSS wird zum einen die Metapher eines IDSS in das medizinische Umfeld transportiert und zum anderen das Zusammenspiel mit dem Forschungsfeld der agentenbasierten Systeme betont. Der Begriff des Agenten wird in der Wissenschaft unterschiedlich definiert. Nach [FMEm06] ist ein intelligenter Agent „a system that perceives its environment and acts upon the information it perceives“. Eine weitere weit verbreitete Definition beschreibt den Begriff des Agenten als eine Art Klammer um verschiedene Typen von Agenten. Die spezifischen Agenten werden über die Attribute reaktiv, autonom, lernend, kooperierend, schließend, kommunizierend und mobil klassifiziert. Die Zusammenfassung mehrerer Agenten zu einem lose gekoppelten Netzwerk, das zur Lösung eines Problems ohne übergeordnetes Steuerungssystem zusammenarbeitet, wird Multi-Agentensystem genannt.

Mit dem Softwaresystem Guardian zeigt Larsson [LHR98] den Einsatz intelligenter Agenten im medizinischen Echtzeitmonitoring, der Diagnoseunterstützung sowie der Empfehlungsunterstützung bei der Abarbeitung von Behandlungsplänen. Durch die von Larsson vorgeschlagene modulare Architektur ist es möglich, einen Agenten mit verschiedenen Diagnosealgorithmen zu instanzieren. Silverman [SAM98] stellt mit R2Do2 (Reminders and Todos) einen agentenbasierten Ansatz vor, der eine Befriedigung des medizinischen Informationsbedarfs über eine Push-Notifikation realisiert. Der Arzt soll unterstützt werden, die richtige Aktivität zur richtigen Zeit durchzuführen. Der Agent überwacht hierbei z. B. Patientenakten sowie andere digital verfügbare Dokumentationsformen. Silverman betont hierbei die Problematik der fehlenden Standardisierung medizinischer Dokumente und schlägt eine proprietäre Middleware namens HOLON vor.

3.5.3 Datenstrommanagementsysteme

Erwachsen aus dem Bereich der Datenbankmanagementsysteme (DBMS), nehmen sich Datenstrommanagementsysteme (DSMS) dem wachsenden Problem kontinuierlicher Datenströme an. Während DBMS auf die Ausführung einmaliger, aktiv durch einen Nutzer abgesetzter Anfragen optimiert sind, überwachen DSMS kontinuierlich die eintreffenden Daten. Cugola [CM11] betont, dass traditionelle DBMS „need to store and index data before processing it, can hardly fulfill the requirements of timeliness coming from such domains“. Innerhalb eines DSMS erfolgt auf Basis einer deklarativen Anfragesprache die Formulierung von Regeln zur Abfrage der Daten. Ein prominentes Beispiel solcher DSMS ist das STREAM-Projekt der Stanford University, wie durch Arasu [ABB+04] skizziert. Die notwendigen Anpassungen und Erweiterungen, die aus einer kontinuierlichen Überwachung resultieren, lauten wie folgt: Die Anfragesprache muss sowohl auf relationalen wie auch auf kontinuierlichen Daten operieren können. Aufgrund der hohen Datenmengen muss eine performante Ausführung der Anfragen durch Clustering, Ordnung und Zwischenspeicherung gewährleistet werden. Zuletzt müssen Mechanismen zur Intervention bei Systemüberlastungen entwickelt werden [ABB+04].

Dem Problem der Überwachung von sensorbasierten Datenströmen im Umfeld des Ambient Assisted Living nimmt sich Geesen [GBG+12] unter Nutzung des DSMS „Odysseus“ an. Im Sinne einer Middleware analysiert Odysseus eintreffende Daten, übermittelt von Helligkeitssensoren, Gewichtssensoren u.a. Ältere Personen können so kontinuierlich überwacht werden. Zur Formulierung von Verarbeitungsregeln wird die Sprache SQL eingesetzt, welche eine natürliche Begrenzung der Ausdrucksstärke besitzt. Respektive verweist der Autor auf die Notwendigkeit zur Nutzung weiterer Konzepte, wie z. B. dem Complex Event Processing. Nur so wird es möglich, die im AAL- und Telemedizinumfeld benötigten Pattern, zeitlichen Muster und Beziehungen auf Daten anwenden zu können.

3.6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Kapitels wurde der Stand der Forschung der zwei wissenschaftlichen Forschungsfelder Informationslogistik und Complex Event Processing aufgearbeitet. Beide zusammen werden zur Konzeption und Implementierung einer Lösung zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten im Rahmen des Telemonitorings zusammengeführt.

Zu Beginn wurde hierzu der Begriff der Information im Sinne der Telemedizin beleuchtet. Hierbei ist das telemedizinische Datum (**Definition 4**) von der telemedizinischen Information (**Definition 5**) zu unterscheiden. Eine Information besitzt im Rahmen des jeweiligen Behandlungskontexts eine Relevanz, wobei letztere direkt mit dem Informationsgehalt korreliert (**Definition 7**) ist. Die Relevanz einer telemedizinischen Information ist ein Zusammenhang aus dem Nutzwert und der Validität der Information (**Definition 10**). Die Bewertung des Nutzwerts und der Validität setzen ein Verständnis des jeweiligen Informationsbedarfs voraus. Aufgabe der Informationslogistik ist es somit, eine bedarfsgerechte Versorgung der Anwender von Informations- und Kommunikationssystemen mit telemedizinischen Informationen sicherzustellen (**Definition 12**).

Das Complex Event Processing ermöglicht eine Darstellung von Zustandsänderungen der realen Welt in Form von Ereignissen (**Definition 13**). Durch Filterung, Aggregation und Mustererkennung, auch Complex Event Processing (**Definition 15**) genannt, können einzelne elementare Ereignisse verarbeitet werden. Die Mächtigkeit der Verarbeitung steht in direkter Abhängigkeit zur eingesetzten Event Processing Engine sowie der zugrunde liegenden Event Processing Language.

Anhand existierender Projekte konnte gezeigt werden, dass CEP zur Verarbeitung von Daten in der Telemedizin grundsätzlich eingesetzt werden kann. Insbesondere im Rahmen von STRIDE erfolgte hierzu eine erste Zusammenführung von Verarbeitung und Standardisierung der zu verarbeitenden Ereignisse. Ansätze zur Verarbeitung von Vitalwerten lassen sich ebenfalls in den Forschungsbereichen der agentenbasierten Systeme, des Clinical Decision Supports sowie des Datenstrommanagements finden.

Im nachfolgenden Kapitel soll, basierend auf dem hier gewonnenen Kenntnisstand, die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit des zu entwickelnden Ansatzes dargestellt werden. Hierzu werden die Anforderungen an die Konzeption und Implementierung einer modularen softwaretechnischen Lösung zur Verarbeitung von Vitalwerten erarbeitet, um diese dann mit dem hier skizzierten Stand der Wissenschaft abzugleichen und abschließend die Kernelemente für diese Arbeit zu benennen.

4 Anforderungen und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des CEPs

4.1 Einleitung

Abschließend mit der Diskussion zur wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit im vorangegangenen Kapitel, wurde die Notwendigkeit zur Erweiterung existierender Konzepte des Complex Event Processings erörtert. Nachfolgend sollen hierzu die wesentlichen fachlichen wie auch technischen Anforderungen an die informationslogistische Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des Complex Event Processings erarbeitet werden. Im ersten Schritt werden aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Bereich des Telemonitorings hinsichtlich relevanter Anforderungen analysiert. Im nächsten Schritt erfolgt ein Rückbezug zur Anwendungsklasse des Telemonitorings aus Kapitel 2.3. Abschließend werden nichtfunktionale Anforderungen gemäß ISO/IEC 9126 in Bezug zur implementierenden ILOG-Engine gesetzt und bewertet. Die Gesamtheit der Anforderungen wird hinsichtlich der in Kapitel 3.5 zusammengefassten wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit reflektiert.

Nachfolgend wird im Rahmen dieses Kapitels die Nutzbarkeit des Complex Event Processings zur informationslogistischen Verarbeitung evaluiert. Hierbei gilt es zu klären, ob CEP zur Verarbeitung von Daten und Informationen geeignet ist, ob CEP die Anforderungen zur Verarbeitung telemedizinischer Daten berücksichtigt, ob mit CEP die Grundmechanismen einer informationslogistischen Verarbeitung abgebildet werden können und letztendlich, ob die Informationslogistik überhaupt ein geeignetes Mittel zur Lösung der Informationsüberversorgung im Bereich der Telemedizin sein kann. Zur Beantwortung dieser Fragen werden die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel retrospektiv betrachtet und abschließend Fragestellungen formuliert, welche im Rahmen der Erarbeitung von Konzepten zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten berücksichtigt bzw. beantwortet werden müssen.

4.2 Anforderungen an einen Lösungsansatz zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des CEPs

Bereits in Kapitel 1 wurden die wesentlichen Probleme in der heutigen Verarbeitung von Vitalwerten im Rahmen des Telemonitorings erörtert, resultierend in den nachfolgend benannten Bedarfen:

- Der Aufbau von Analyseinfrastrukturen zur Verarbeitung von Vitalwerten ist komplex und zeitaufwendig. Es bedarf neuen Konzepten zur Modularisierung der Analytik, so dass diese einfach wiederverwendet werden können.

- Eine übergreifende Verarbeitung von Vitalwerten über Systemgrenzen hinweg ist aufgrund einer fehlenden Standardisierung derzeit nicht gegeben, weshalb ein Lösungsansatz Konzepte zur systemübergreifenden Beschreibung von Vitalwerten bereitstellen muss.
- Das Gesundheitswesen ist konfrontiert mit einer wachsenden Anzahl an Informationsquellen, wodurch es zu einer Informationsübersorgung, respektive einer sinkenden Effektivität im Informationskonsum, kommt. Im Rahmen des Telemonitorings ermittelte Vitalwerte müssen deshalb zu bedarfsgerechten Informationen aufbereitet werden.

Nachfolgend sollen die oben benannten Bedarfe mit Anforderungen zur Konzeption eines Systems zur bedarfsgerechten Informationsversorgung in Telemonitoringszenarien hinterlegt werden. Hierzu erfolgt eine systematische Analyse von wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Bereich des Telemonitorings. Zur Recherche wurden die einschlägigen Verzeichnisse von Springer [Spr13], Elsevier [Els13] und IEEE [IEE13] herangezogen. Es zeigte sich schnell, dass es nur wenige Veröffentlichungen gibt, die sich mit einer Evaluationen von Anforderungen an Systemen zum Telemonitoring auseinandersetzen. Im Rahmen des Selektionsprozesses wurden die in Tabelle 8 aufgeführten Veröffentlichungen ausgewählt.

Tabelle 8: Ergebnis der Recherche nach Anforderungen an ein System zur Verarbeitung von Telemonitoringdaten.

Quelle	Jahr	Beschreibung
[EDB+10]	2010	Auseinandersetzung mit den fachlichen Anforderungen an Telemonitoringsysteme unter Berücksichtigung technischer und ökonomischer Aspekte.
[BMK11]	2011	Beschreibung von Bedarfen und Anforderungen an Systeme zum Telemonitoring
[PHPE11]	2011	Definition von Anforderungen zum Design und der Implementierung von Telemonitoringsystemen zur frühzeitigen Erkennung von chronischen Erkrankungen.
[GSM+07]	2007	Darstellung von Problemen und Anforderungen zur Gewährleistung eines interoperablen Telemonitorings.
[LAG10]	2010	Anforderungen an Basiskomponenten und einem modularen Aufbau von Telemonitoringsystemen.
[MEME+09]	2009	Begründung der Notwendigkeit einer Standardisierung im Bereich des Telemonitorings zur Gewährleistung eines Plug&Plays für verschiedene Vitalwerte.
[BDF+07]	2007	Skizzierung von Anwendungsregeln zur Konzeption von Telemonitoringsystemen auf Basis der ISO 9000.
[NBR+12]	2012	Benennung von Anforderungen zur zeitnahen Verarbeitung von Vitalwerten im Rahmen des Telemonitorings.

Das Ergebnis der Analyse der ausgewählten Veröffentlichungen resultiert in den nachfolgend benannten Anforderungen:

- **A1 Durchgängige und bruchfreie Kommunikation:** Goetz [EDB+10] konstatiert, dass Telemonitoring harmonisierte Schnittstellen, interoperable Kommunikationsformen und eine Konvergenz auf gemeinsame Kommunikationskanäle braucht. Die Systeme müssen sich mit existierenden Systemen, wie z. B. Praxisverwaltungssystemen, integrieren lassen.
- **A2 Intuitive Informationspräsentation:** Systeme zum Telemonitoring müssen Informationen derart zur Verfügung stellen, dass diese zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden können. Die Qualität von Informationen sowie der Informationsgehalt spielen hier eine entscheidende Rolle [EDB+10, PHPE11].
- **A3 Erkennung kritischer Situationen:** Ein Telemonitoringsystem muss die Erkennung kritischer Situationen und Bereitstellung entsprechender Handlungsweisen ermöglichen [BMK11, PHPE11].
- **A4 Bedarfsgerechte Verarbeitung:** Peirce betont, dass „Data should also be fit for its defined purpose. [...] Information should be presented in a way that is comprehensible and meaningful.“, also dass die erhobenen Vitalwerte dem Bedarf des empfangenden Akteurs entsprechen müssen [PHPE11].
- **A5 Modulare Verarbeitung:** Existierende Systeme sind zu limitiert in ihrer Komplexität und Variabilität, um Vitalwerte zu verarbeiten. Dieses ist jedoch eine wesentliche Anforderung zur bedarfsgerechten Informationsversorgung [PHPE11].
- **A6 Flexible und situationsangepasste Algorithmen:** Existierende Systeme arbeiten auf Basis von einfachen Schwellwertüberprüfungen, jedoch bedarf es an Systemen, welche Muster erkennen, lernen und mehrere Eingangswerte gleichzeitig berücksichtigen können [PHPE11].
- **A7 Erweiterbarkeit:** Neue Vitalwertsensoren müssen, im Sinne eines Plug&Play, problemlos angebunden werden können, ohne die Architektur des informationsverarbeitenden Systems modifizieren zu müssen [GSM+07, MEME+09]. Insbesondere die Standardisierung von Vitalwerten spielt hier eine entscheidende Rolle [LAG10].
- **A8 Aggregierte Verarbeitung:** Vitalwerte verschiedener Vitalwertsensoren müssen, im Sinne eines Patientenprofils, zusammengeführt und verarbeitet werden können [LAG10].
- **A9 Echtzeitverarbeitung:** Im Rahmen des Telemonitorings gemessene Vitalwerte können zeitkritische Situationen beschreiben. Aus diesem Grund müssen diese in Echtzeit verarbeitet werden können [NBR+12].

Aus der im Rahmen von Kapitel 2.3 erarbeiteten Anwendungsklasse Telemonitoring lassen sich weitere fachliche wie auch technische Anforderungen an die Konzeption und Implementierung wie folgt ableiten:

- **A10 Anbindung:** Vitalwerte werden über das Verfahren des Fernmonitoring gemessen. Respektive bedarf es einer IP-basierten Übermittlung dieser zu entwickelnden Engine.

Die Engine muss hierzu im Intranet oder Internet, abhängig vom Einsatzszenario, verfügbar sein.

- **A11 Adressierung:** Die durch die Verarbeitung entstehenden höherwertigen Informationen sind adressiert oder gerichtet an einen oder eine Klasse von Empfängern zu richten. Hierbei müssen verschiedene Ausgabekanäle angesteuert werden können.
- **A12 Zeitliche Abfolge:** Die Verarbeitung von Vitalwerten bzw. die Weiterleitung von Informationen erfolgt nachrichtenbasiert und asynchron. Eine Rückkommunikation zur Engine ist nicht vorgesehen.

Neben den fachlichen und technischen Anforderungen, wie oben beschrieben, spielen auch die nichtfunktionalen Anforderungen eine entscheidende Rolle. Angelehnt an ISO/IEC 9126 sind diese in Tabelle 9 mit der Angabe der Relevanz für diese Ausarbeitung sowie einer Beschreibung aufgeführt.

Tabelle 9: Bedeutung nichtfunktionaler Anforderungen für die Implementierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung von Vitalwerten.

Nr.	Nichtfunktionale Anforderung	Relevanz	Beschreibung
NF1	Aussehen und Handhabung	Niedrig	Die zu entwickelnde Engine ist eine Middleware-Komponente, womit sich keine expliziten Anforderungen an das Aussehen und die Handhabung ergeben.
NF2	Benutzbarkeit, Verständlichkeit, Bedienbarkeit	Mittel	Die Engine muss in einer einfachen Art und Weise administrierbar sein.
NF3	Performanz, Durchsatz, Antwortzeiten, Reaktionszeiten	Hoch	Die Verarbeitung der eintreffenden Vitalwerte muss in Echtzeit erfolgen. Ergebnisse müssen gemäß der informationslogistischen Prinzipien transportiert werden.
NF4	Hardwareanforderungen, Ressourcenbedarf	Mittel	Die eingesetzte Hardware beeinflusst die Leistungsfähigkeit der Verarbeitung und insbesondere der Zwischenspeicherung von Vitalwerten.
NF5	Betrieb und Umgebungsbedingungen	Niedrig	Es ergeben sich keine direkten Anforderungen an die Betriebs- bzw. Umgebungsbedingungen.
NF6	Portierbarkeit, Installierbarkeit	Mittel	Die Engine muss sich problemlos auf einem System installieren lassen. Eine Installation kann sowohl auf Linux wie auch Windows-basierten

			Systemen erfolgen.
NF7	Verfügbarkeit, Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit	Hoch	Die Engine muss hochverfügbar sein und Mechanismen bereitstellen, die im Falle eines Systemausfalls greifen.
NF8	Korrektheit: fehlerfreie Ergebnisse, Fehlertoleranz	Hoch	Die Engine muss den Informationsbedarf erfüllen. Hierbei sind Toleranzgrenzen einzuhalten, um einer Informationsübersorgung entgegen zu wirken.
NF9	Unterstützung von Standards, Normen und Vorschriften	Hoch	Interoperabilität zur Verarbeitung von Vitalwerten erfordert die Berücksichtigung gängiger Standards, wie z. B. HL7 oder IEEE 11073.
NF10	Einzusetzende Sprachen, Methoden, Technologien und Werkzeuge	Mittel	Abhängig von der eingesetzten EPE werden die zu nutzenden Sprachen, Werkzeuge und Techniken determiniert.
NF11	Datenschutz und Datensicherheit	Hoch	Da es sich um patientenbezogene Daten handelt, müssen Mechanismen zur Absicherung der Kommunikation berücksichtigt werden.

4.3 Nutzbarkeit des Complex Event Processings zur informationslogistischen Verarbeitung in der Telemedizin

Die Telemedizin ist gemäß **Definition 1** dieser Arbeit die Bereitstellung von Gesundheitsdienstleistungen über internetbasierte Informations- und Kommunikationsstrukturen zwischen Heil- und Gesundheitsfachberuflern zum Zweck des Telemonitorings. Respektive werden telemedizinische Informationen, entsprechend **Definition 6**, von einem Sender zu einem Empfänger transportiert, wobei diese (ungewollt) durch äußere Einflüsse verändert werden können. Das Telemonitoring als Anwendungsklasse der Telemedizin zeichnet sich dabei gerade dadurch aus, dass telemedizinische Daten (**Definition 4**) zumeist in Form von Datenströmen ausgetauscht werden. Sofern eine aus medizinischer Sicht relevante (**Definition 10**) Situation eintritt, muss möglichst zeitnah agiert werden denn die einzelne Information besitzt oft eine hohe Zeitkritikalität, da sie eine kritische medizinische Situation des Patientenzustands beschreibt. Das Complex Event Processing nimmt sich eben gerade diesem Problem der zeitkritischen Verarbeitung von Daten in Form von Ereignissen an. Aus einer Menge von Ereignissen gilt es, jene mit hoher Relevanz weiter zu verarbeiten, zu filtern und zu aggregieren. Die allgemeine Definition eines Ereignisses (**Definition 13**) als etwas, das ein Ausdruck für eine Zustandsänderung in einem Referenzsystem ist, ermög-

licht es auch, die Entstehung einer Information als ein Ereignis zu interpretieren. Im Folgenden soll gezeigt werden:

1. dass Complex Event Processing zur Verarbeitung von Daten geeignet ist.
2. dass Complex Event Processing die Anforderungen an die Verarbeitung telemedizinischer Daten berücksichtigt.
3. dass Complex Event Processing die Anforderungen einer informationslogistischen Verarbeitung erfüllt.
4. dass Informationslogistik ein geeignetes Mittel zur Lösung der Informationsüberversorgung im Bereich der Telemedizin ist.

Sei eine transitive Relation angenommen, so ist zu schließen, dass CEP ein geeignetes Mittel zur Verminderung der Informationsüberversorgung sein kann.

Zu 1) sei verwiesen auf das Modell von Boisot und Canals [BC04], vorgestellt in Kapitel 3.2.1. Hierbei repräsentieren Daten eine physische Zustandsänderung im Sinne von Raum, Zeit und Energie. Die Wahrnehmung einer solchen Zustandsänderung obliegt einem Agenten. Aufgrund des stetigen Wachstums an Daten und Informationen, wie in Kapitel 3.2.3 erörtert, ist zu folgern, dass Agenten mit einer wachsenden Menge an Stimuli, welche es zu verarbeiten gilt, konfrontiert werden. Ebenfalls ist es Aufgabe des Agenten, aus dem Strom an Daten Muster zu erkennen, welche auf eine relevante Information schließen lassen. Boisot und Canals [BC04] verweisen auf zwei wesentliche Funktionen, Filter genannt: Zum einen sind dies wahrnehmende Filter, welche die Menge der zu verarbeitenden Daten reduzieren und zum anderen konzeptuelle Filter, welcher die Funktion der Informationsextraktion obliegt.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Modell von Boisot und Canals sowie dem Complex Event Processing, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Konzepte der Ereignisverarbeitung auf jene des Modells abgebildet. Abbildung 12 zeigt, dass ein telemedizinisches System einen externen Stimulus erhält. Dies kann z. B. die erfolgte Durchführung einer Vitalwertmessung sein, an deren Ende ein neues telemedizinisches Datum in Form eines Vitalwerts steht. Im Sprachgebrauch der Ereignisverarbeitung handelt es sich hierbei um ein Ereignis, wobei, abhängig vom Vitalwert, unterschiedliche Ereignistypen unterschieden werden können. Respektive bedarf es im Nachfolgenden einer Filterung relevanter und irrelevanter Ereignisse. Diese Aufgabe obliegt dem CEP-System, welches somit den wahrnehmenden Filter des Boisot-Canals-Modells zu implementieren hat.

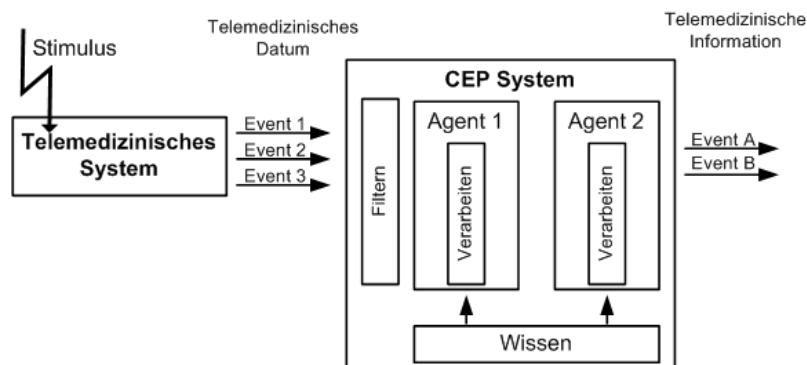


Abbildung 12: Verarbeitung von externen Stimuli in Form von Events durch ein CEP-System.

Innerhalb des CEP-Systems arbeiten Agenten, welche spezifische Zielsetzungen bzw. Informationsbedarfe (**Definition 8**) erfüllen. Im Sinne des konzeptuellen Filters übernehmen sie die Verarbeitung der telemedizinischen Daten in einer Art und Weise, dass unter Nutzung von Wissen für einen Rezipienten relevante Informationen entstehen. Zusammenfassend lässt sich somit zeigen, dass sich die Verarbeitung von Daten und Informationen auf das Complex Event Processing abbilden lässt.

Zu 2) sei insbesondere auf die Darstellung der Telemedizin in Kapitel 2.3 verwiesen. Hieraus ableitend ergeben sich folgenden Charakteristika, welche ein System zur Verarbeitung telemedizinischer Daten berücksichtigen muss:

- Verteiltheit: Telemedizinische Daten entstehen stark verteilt, was bedeutet, dass ein System zur Verarbeitung telemedizinischer Daten einen Mechanismus zur standardisierten Aufnahme eben dieser bereitstellen muss.
- Zeitkritikalität: Telemedizinische Daten bedürfen einer, sofern es sich um eine kritische medizinische Situation handelt, direkten Verarbeitung, Aufbereitung und Weiterleitung als telemedizinische Information.
- Aggregation: Die Kritikalität einer Situation ergibt sich zumeist aus der Betrachtung einer Menge von telemedizinischen Daten unter Berücksichtigung von temporalen Aspekten. Ein System zur Verarbeitung telemedizinischer Daten muss somit Daten unter Berücksichtigung der Zeit logisch zusammenführen und eine Entscheidung hinsichtlich der Relevanz der aggregierten telemedizinischen Information treffen.

Die Basis der Kommunikation in einem ereignisverarbeitenden System ist das Ereignis, wie in Abbildung 12 dargestellt. Über Ereignisse kann auch in stark verteilten Kontexten eine Verarbeitung von Daten erfolgen. Respektive besitzt CEP Lösungskompetenzen für das Problem der Verteiltheit. In verteilten Infrastrukturen übergreifend Daten verarbeiten zu können, bedeutet jedoch auch, dass diese einer definierten Struktur entsprechen müssen. Die

Struktur eines Ereignisses ist jedoch nicht standardisiert und nicht an die spezifischen Bedürfnisse eines telemedizinischen Datums angepasst. Somit ergibt sich die folgende Fragestellung:

Fragestellung 1: Inwiefern lassen sich Ereignisse derart strukturieren bzw. standardisieren um a) eine Aufnahme von telemedizinischen Daten zu gewährleisten, b) Parameter zur informationslogistischen Verarbeitung darzustellen und c) eine Kommunikation mit existierenden medizinischen und telemedizinischen Systemen zu ermöglichen?

Die Möglichkeiten zur Verarbeitung von Ereignissen sind stark von der eingesetzten Event Processing Engine abhängig, wie in Kapitel 3.3.2 dargestellt. Eine temporale Verarbeitung hängt somit in erster Linie von der Mächtigkeit der EPE ab. Aus einer rein theoretischen Betrachtung heraus ist es jedoch möglich, mithilfe von Zeitfenstern auf Basis von Allens Intervall Algebra temporale Operationen auf Ereignissen durchzuführen. Somit gilt es zu klären:

Fragestellung 2: Bieten Event Processing Engines hinreichende Möglichkeiten zur temporalen Verarbeitung in einem telemedizinischen Kontext?

An das Problem der Verteiltheit in telemedizinischen Szenarien schließt sich das Problem einer aggregierenden Verarbeitung der in Form von Ereignissen, eintreffenden telemedizinischen Daten an. Hierzu bedarf es eines mehrstufigen Vorgehens: In einem ersten Schritt muss die Relevanz für einen einzelnen Vitalwerttypen bestimmt werden. Nachfolgend muss die Relevanz über verschiedene Vitalwerttypen hinweg berechnet werden. Das CEP bietet über die Konzepte der Event Processing Agents und Event Processing Networks Möglichkeiten zur Strukturierung der Verarbeitung an. Inwiefern diese Konzepte ausreichend sind, ist zu klären:

Fragestellung 3: Lassen sich Event Processing Agents und Event Processing Networks hinreichend instrumentalisieren, um eine mehrstufige Verarbeitung eintreffender telemedizinischer Daten in Form von Ereignissen zu ermöglichen?

Zu 3) sind zu Beginn die Problemstellung und das Ziel sowie die Grundanforderungen an eine informationslogistische Verarbeitung aufzuarbeiten. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, ist das Ziel der Informationslogistik die bedarfsgerechte Versorgung der Anwender von Informations- und Kommunikationssystemen mit Daten, Informationen und Diensten unter Zuhilfenahme multidimensionaler Modelle (**Definition 12**) zum Zweck der Reduzierung der Informationsübersversorgung. Um dies zu erreichen, muss ein informationslogistisches System die folgenden Anforderungen erfüllen:

- **Formalisierung des Informationsbedarfs:** Die Relevanz einer Information, also der Nutzwert in Abhängigkeit zur Validität sowie dem Aufwand zur Nutzung der Informationsquelle (**Definition 10**), steht in einem direkten Zusammenhang zum Informationsbedarf eines Nutzers. Respektive muss ein informationslogistisches System in der Lage sein den Informationsbedarf und das benötigte Wissen zur Erfüllung dessen zu formalisieren.
- **Reduzierung der Informationsübersversorgung:** Das informationslogistische System muss Funktionen bereitstellen, um unter Anwendung des formalisierten Informationsbedarfs die Menge der irrelevanten Informationen zu minimieren. Die Verarbeitung umfasst das Filtern ebenso wie die Aggregation von telemedizinischen Daten und Informationen.
- **Intelligenter Transport:** Relevante Informationen müssen zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Repräsentationsform eintreffen. Dies ist eine notwendige Bedingung zur Erfüllung des Informationsbedarfs. Hierzu kann es notwendig sein, abhängig von der Situation, unterschiedliche Kommunikationskanäle anzusteuern oder Informationen in einem speziell standardisierten Format zu übermitteln.

Entsprechend des Modells von Newell und Simon [NS72], vorgestellt in Kapitel 3.2.3, sind die Informationserzeugung, die Informationsverarbeitung, der Informationskonsum, die Speicherung sowie der Transport wesentliche Komponenten einer informationslogistischen Verarbeitung. Nachfolgend werden in Tabelle 10 die genannten Komponenten gegen jene des CEPs gegenüber gestellt.

Tabelle 10: Vergleich zwischen den Komponenten eines informationslogistischen Informationssystems und den Technologien des Complex Event Processings.

Informationslogistisches System	Complex Event Processing
Informationserzeugung	Das kleinste Element innerhalb des Complex Event Processings ist das Ereignis, also eine Repräsentation einer Statusänderung in einem System. In einem ersten Schritt müssen solche Ereignisse mithilfe der Event Recognition erkannt werden. Das CEP fokussiert jedoch nicht die Erkennung, sondern, wie in der nachfolgenden Tabellenzeile benannt, die Verarbeitung von Ereignissen und deren Zusammenführung zu relevanten Informationen.
Informationsverarbeitung	Zur Informationsverarbeitung bedient sich das CEP der Methoden der Filterung, Aggregation, Berechnung temporaler Zusammenhänge sowie Pattern Matchings. Zur Formalisierung der Verarbeitungsoperationen wird eine Event Processing Language zur Verfügung gestellt.
Informationskonsum	Die Bereitstellung des Ergebnisses der oben

	durchgeführten Verarbeitung erfolgt, sofern keine nachgelagerten Transformationen durchgeführt werden, in Form von Ereignissen. Da sich das CEP auf die Verarbeitung fokussiert, müssen Methoden für ein intelligentes Routing selber erarbeitet werden. Inwiefern die Bereitstellung dem Informationsbedarf entspricht, hängt von der Genauigkeit der Verarbeitung ab. Respektive besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen der Bedarfsformulierung und einer Event Processing Language.
Informationsrepräsentation	Die Repräsentation von Daten und Informationen in einem ereignisverarbeitenden System erfolgt über Ereignisse. Die Modellierung eines Ereignisses muss in Abhängigkeit zur eingesetzten Event Processing Engine erfolgen.
Speicher	Das Complex Event Processing besitzt lediglich eine Art „Kurzzeitgedächtnis“ und kein „Langzeitgedächtnis“ im Sinne einer Datenbank.
Transport	Der Transport innerhalb eines CEP-Systems sowie zu externen Systemen erfolgt über Ereignisse.

Neben den Kongruenzen zwischen Informationssystemen zur informationslogistischen Verarbeitung und dem CEP werden auch Divergenzen ersichtlich, welche zu den nachfolgend zu erörternden Fragestellungen führen.

Um Informationen intelligent transportieren und verarbeiten zu können, muss der Bedarf eines Empfängers klar definiert sein. Respektive muss ein CEP-System eine Schnittstelle zur Formalisierung des Informationsbedarfs zur Verfügung stellen. Die Verarbeitung von telemedizinischen Daten in Form von Events erfolgt in einem CEP-System durch den Einsatz einer Event Processing Language. Somit stellt sich die Frage:

Fragestellung 4: Besitzt eine Event Processing Language hinreichende Mächtigkeit zur Formalisierung des Informationsbedarfs im Einsatzbereich der Verarbeitung telemedizinischer Daten?

Unter Einbeziehung des formalisierten Informationsbedarfs muss ein CEP-System telemedizinische Daten so verarbeiten, dass eine Informationsübersorgung von Nutzern minimiert wird. Wie in Kapitel 3.3.2 herausgearbeitet, entscheidet die Implementierung in Form einer Event Processing Engine maßgeblich über die Mächtigkeit zur Ereignisverarbeitung und somit die Möglichkeiten zur Realisierung erweiterter Konzepte. So werden Operatoren zur Filterung, Aggregation, Berechnung temporaler Zusammenhänge sowie Pattern Matching zur Verfügung gestellt. Hieraus leitet sich die folgende Frage ab:

Fragestellung 5: Welche Konzepte und insbesondere Operatoren muss eine EPE minimal zur Verfügung stellen, um eine Verarbeitbarkeit telemedizinischer Daten nach den Prinzipien der Informationslogistik gewährleisten zu können?

Eine intelligente Verarbeitung setzt voraus, ein telemedizinisches Datum im Kontext einer Menge von Werten bzw. eines zeitlichen Verlauf derer bewerten zu können. Hierzu müssen einzelne Werte in einer Art Gedächtnis zwischengespeichert werden. CEP besitzt jedoch lediglich ein Kurzzeitgedächtnis, Ereignisse werden also nicht in einer Datenbank abgelegt, sondern lediglich im Arbeitsspeicher vorgehalten, woraus sich die folgende Frage ergibt:

Fragestellung 6: Können im Kurzzeitgedächtnis genügend telemedizinische Werte zum Zweck einer informationslogistischen Verarbeitung zwischengespeichert werden und ab wann erfolgt der Übergang zu einem Langzeitgedächtnis?

Anschließend an die Verarbeitung telemedizinischer Daten in Form von Ereignissen müssen jene, welchen eine hohe Relevanz zugesprochen wird, als telemedizinische Information zu einem Empfänger transportiert werden. Die Basis des Datentransports innerhalb eines CEP-Systems sowie für die Anbindung mit externen Systemen sind Ereignisse. Ein ereignisverarbeitendes System besitzt somit Basisfunktionalitäten zum Datenaustausch. Zu klären ist:

Fragestellung 7: Inwiefern reicht die Darstellung in Form von Ereignissen aus bzw. welche weiterführenden Anforderungen existieren, um einen Datentransport zu externen Systemen gewährleisten zu können?

Zu 4) sei zu Beginn noch einmal auf das wesentliche Problem der Informationsübersorgung in der Bereitstellung telemedizinischer Vitalwerte hingewiesen. Aufgrund einer zu hohen Informationsdichte sind die kognitiven Kapazitäten erschöpft und die Qualität der Entscheidungsfindung nimmt ab (**Definition 11**). Auf einer stark abstrahierten Ebene erlauben jene der Informationslogistik zuzuordnenden Technologien eine Optimierung der bedarfsgerechten Versorgung mit Informationen unter Zuhilfenahme multidimensionaler Modelle (**Definition 12**). Inwiefern also die Informationslogistik ein geeignetes Mittel zur Lösung der Informationsübersorgung im Bereich der Telemedizin ist, hängt maßgeblich von den eingesetzten Technologien, wie in Tabelle 7 angegeben, ab. Respektive besteht eine Konkordanz, inwiefern das Complex Event Processing die Anforderungen an die Verarbeitung telemedizinischer Daten einer informationslogistischen Verarbeitung erfüllt.

Tabelle 11: Zusammenfassung der offenen Fragestellungen zur Verarbeitbarkeit telemedizinischer Ereignisse unter Nutzung von CEP.

Fragestellung	Beschreibung
Fragestellung 1	Inwiefern lassen sich Ereignisse derart strukturieren bzw. standardisieren, um a) eine Aufnahme von telemedizinischen Daten

	zu gewährleisten, b) Parameter zur informationslogistischen Verarbeitung darzustellen und c) eine Kommunikation mit existierenden medizinischen und telemedizinischen Systemen zu ermöglichen?
Fragestellung 2	Bieten Event Processing Engines hinreichende Möglichkeiten zur temporalen Verarbeitung in einem telemedizinischen Kontext?
Fragestellung 3	Lassen sich Event Processing Agents und Event Processing Networks hinreichend instrumentalisieren, um eine mehrstufige Verarbeitung eintreffender telemedizinischer Daten in Form von Ereignissen zu ermöglichen?
Fragestellung 4	Besitzt eine Event Processing Language hinreichende Mächtigkeit zur Formalisierung des Informationsbedarfs im Einsatzbereich der Verarbeitung telemedizinischer Daten?
Fragestellung 5	Welche Konzepte und insbesondere Operatoren muss eine EPE minimal zur Verfügung stellen, um eine Verarbeitbarkeit telemedizinischer Daten nach den Prinzipien der Informationslogistik gewährleisten zu können?
Fragestellung 6	Können im Kurzzeitgedächtnis genügend telemedizinische Werte zum Zweck einer informationslogistischen Verarbeitung zwischengespeichert werden, und ab wann erfolgt der Übergang zu einem Langzeitgedächtnis?
Fragestellung 7	Inwiefern reicht die Darstellung in Form von Ereignissen aus bzw. welche weiterführenden Anforderungen existieren, um einen Datentransport zu externen Systemen gewährleisten zu können?

4.4 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Im vorangegangenen Kapitel 3 wurde der Stand der Forschung für die Bereiche Informationslogistik und Complex Event Processing aufgearbeitet. Hierbei wurden allgemeingültige wie auch (tele-) medizinspezifische Lösungsansätze zur Verarbeitung von (Gesundheits-) Daten beschrieben. Nachfolgend sollen diese Ansätze unter Berücksichtigung der erarbeiteten Anforderungen und Fragestellungen hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit bewertet werden. Das sich hieraus ergebende Delta zwischen Lösungsbedarf und Angebot skizziert die wissenschaftlichen Anknüpfungspunkte für die im Rahmen des nachfolgenden Kapitels 5 zu konzipierenden Lösungsansätze.

Mit der Informationslogistik, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, existiert ein Forschungsfeld, welches problem- und anwendungsorientiert wissenschaftliche Ansätze zur bedarfs- und benutzergerechten Informationsversorgung kapselt. Leitziel ist der Transport der richtigen Information zur richtigen Zeit in der richtigen Repräsentationsform an den richtigen Ort. Um dieses Leitziel zu erreichen, bedient sich die Informationslogistik an anderer Forschungsfelder, wie z. B. dem Bereich des Clinical Decision Supports, agenten- und wissensbasierten Systemen sowie Datenstrommanagementsystemen.

Gerade im medizinischen Bereich werden in Zukunft Konzepte zur Gewährleistung eines intelligenten Transports unabdingbar sein. Durch den stetig voranschreitenden medizintechnischen Fortschritt, neue Diagnosemethoden und eine wachsende informationstechnologischen Vernetzung sind Leistungserbringer schon heute mit einer Informationsüberflutung konfrontiert, wie Willems [Wil08] herausgearbeitet hat. Eines der wesentlichen Ergebnisse dieser Entwicklung ist die Forcierung der Telemedizin als ein Instrumentarium zur ressourcenschonenden Aufrechterhaltung der medizinischen Versorgung. Die telemedizinische Überwachung bedeutet jedoch für den jeweiligen Leistungserbringer einen enormen Zusatzaufwand. Die Vielzahl verschiedener Vitalwerttypen und die hohe Patientenzahl pro Leistungserbringer machen es unmöglich, kritische Situationen zeitnah zu erkennen. Jeder neue Messwert einer telemedizinischen Messung kann aus einer vormals unkritischen eine kritische Situation machen.

Die in Kapitel 3.5.2 beschriebenen Ansätze des CDS fokussieren die Anwendung von formalisiertem Wissen auf eine tendenziell statische Datenbasis, welche durch einen externen Akteur angefragt wird. Dies widerspricht den Anforderungen des Telemonitorings an eine Echtzeitverarbeitung (A9), in welcher sekundlich tausende von Events einen neuen Systemzustand erzeugen. Zudem fehlt es an Möglichkeiten zur flexiblen Anpassung (A5, A6) der Verarbeitungsalgorithmen an ein verändertes Gesundheitsprofil eines Patienten. Aus den neu entstandenen Systemzuständen gilt es, kritische Situationen abzuleiten und eine aktive Benachrichtigung eines Akteurs zu initiieren. Die existierenden Ansätze aus dem Bereich des CDS ermöglichen hier zwar eine intuitive Informationspräsentation (A2), jedoch fehlt es gerade an Möglichkeiten zur flexiblen Bedarfsformulierung (A4). An dieser Stelle erlauben agentenbasierte Systeme (siehe Kapitel 3.5.2) eine aktivere Rollenverteilung, indem über Zustandsänderungen des Systems aktiv informiert werden kann. Das Projekt SAPHIRE (siehe Kapitel 3.4.2) skizziert einen typischen Lösungsansatz, bei welchem den Agenten Datenquellen zugeordnet werden. Dies können Patientenakten oder andere Formen eines Datenspeichers sein. Durch die Vernetzung von Agenten besteht die Möglichkeit komplexe medizinische Fragestellungen zu formulieren (A8, A5). Diese Art der Datenverarbeitung kann jedoch nicht alle Anforderungen wie in Kapitel 4.2 beschrieben, erfüllen, denn:

- **Algorithmen:** Ein Agent ist optimiert auf die ihm zugeordnete Datenquelle. Die implementierte Logik ist somit hochspezialisiert und kann nur schwer in neue medizinische Fragestellungen übertragen werden (A6).
- **Erweiterbarkeit:** Durch die fehlende Standardisierung der Datenquellen können neue Produzenten telemedizinischer Daten, im Sinne neuer Vitalwertsensoren, nicht ohne weiteres eingebunden werden (A7).

- Verarbeitung kontinuierlicher Daten: Agentenbasierte Systeme besitzen keine eigenen Konzepte zur Verarbeitung kontinuierlicher Daten (A9). Hierzu müssen begleitende Konzepte, wie z. B. CEP oder Ansätze des Datenstrommanagements eingesetzt werden.

Ein weiterer Lösungsansatz wurde in Kapitel 3.5.3 mit den Datenstrommanagementsystemen beschrieben. Optimiert auf die Verarbeitung kontinuierlicher, potenziell unendlicher Datenströme, erfüllen sie die Anforderung einer proaktiven Analyse und Auslösung einer entsprechenden Reaktion. Abhängig von der Implementierung fehlt es den Systemen jedoch durchweg an Möglichkeiten zur Verarbeitung zeitlicher Muster, einer Anwendung von Pattern sowie kausalen Beziehungen zwischen Datenobjekten. All jene Anforderungen werden jedoch durch das Complex Event Processing erfüllt, weshalb es wenig überraschend ist, dass in vielen Veröffentlichungen zum Thema DSMS auf CEP verwiesen wird. Aktuelle Diskussionen zeigen eine Vielzahl von Analogien zwischen den Konzepten des DSMS und des CEPs auf, begreifen jedoch DSMS lediglich als einen performanten und gemanagten Datenübertragungskanal, welcher sich als ein Baustein in das CEP integrieren lässt. Somit ist das CEP die Basis für eine intelligente und anforderungsgerechte Verarbeitung und als Kern dieser Arbeit ausgewählt worden.

Es bedarf also eines Konzeptes, um eine einheitliche Abstraktion zur Verarbeitung und Kommunikation telemedizinischer Werte zu erreichen. Das Forschungsfeld des Complex Event Processings (CEP) wie in Kapitel 3.3 beschrieben, ermöglicht gerade solch eine Abstraktion durch die Interpretation des Auftretens eines telemedizinischen Wertes als Ereignis. Das Ereigniskonzept ermöglicht deren Aggregation und Filterung, indem medizinische Fragestellungen in Form von Pattern formuliert werden. Auch Einflussfaktoren wie Zeit, Ereignisvolumen, Ereignistypen und Verteilung der Ereignisquellen finden Berücksichtigung. Nach Chandy [CEA11] sind so auch Fragestellungen der Informationslogistik lösbar.

Inwiefern CEP im medizinischen Umfeld zum Einsatz kommen kann, zeigen insbesondere Hripsak [HBSP03, HCJ+96], Hazlehurst [HFSS05] und Weber [WLMQ10], wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben. Unter anderem prägen diese den Begriff des „Clinical Event Monitoring“ und formulieren Ausblicke zum Einsatz von HL7 im Sinne einer Ereignisquelle. CEP ermöglicht somit eine Formalisierung medizinischer Fragestellungen und eine Verarbeitung medizinischer Daten (A4).

Aus den vorgestellten Arbeiten im Bereich Complex Event Processing wird jedoch auch klar ersichtlich, dass es an einer Standardisierung von Ereignissen zur Realisierung einer infrastrukturübergreifenden Verarbeitung fehlt (A1). Weder die notwendigen Attribute für eine informationslogistische sowie ereignisbezogene Verarbeitung, noch die relevanten Relationen und Operationen zwischen solchen Ereignissen sind definiert. Die allgemeinen Definitionen von Ereignissen sowie Ereignistypen nach Luckham [Luc02] und Etzion [EN10] sind

zu schwach, um eine Verarbeitbarkeit sowohl im Sinne der Informationslogistik, als auch im Sinne des CEPs gewährleisten zu können (Fragestellung 1, A5, A8), denn nicht nur das Vorhandensein eines Ereignisses als Repräsentation einer telemedizinischen Vitalwertmessung, sondern insbesondere die gemessenen Werte sowie zeitliche Abhängigkeiten spielen eine entscheidende Rolle. Dies impliziert eine Menge von Anforderungen an eine Engine zur Verarbeitung von Ereignissen im Bereich der Telemedizin bzw. des Telemonitorings. Denn die Mächtigkeit existierender Event Processing Engines und deren Event Processing Languages, wie in Kapitel 3.3.2 dargestellt, variiert enorm. So ist nicht jede Sprache gleichermaßen in der Lage, temporale Abhängigkeiten zwischen Ereignissen zu formulieren. Auch die Möglichkeiten zur Filterung, Aggregation, Negation, zum Ausdruck kausaler Beziehungen oder Ereignisfenster sind nicht immer gegeben.

Die im Verlauf des Kapitels 4.3 skizzierten Fragestellungen können durch die existierenden Arbeiten, u.a. von Weber oder Søberg (siehe auch Kapitel 3.3.1), nur zu Teilen beantwortet werden. Dies resultiert zumeist aus der fehlenden Berücksichtigung der für die Domäne Telemedizin spezifischen Anforderungen. So sind Event Processing Agents und Events Processing Networks generische Konzepte. Die jeweiligen Ein- bzw. Ausgänge werden durch die existierenden Arbeiten nicht hinreichend definiert bzw. formalisiert, was wiederum eine Modularisierung und Flexibilisierung (A5, A6) verhindert. Zudem fehlt eine Abbildung der informationslogistischen Grundprinzipien unter Nutzung der Konzepte des CEPs, wie z. B. eine Bedarfsformalisierung über die EPL.

4.5 Notwendige Anpassung und Erweiterung

Basierend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse in Kapitel 4.2, der Bewertung der Nutzbarkeit des CEPs zur informationslogistischen Verarbeitung in Kapitel 4.3 sowie der Einordnung der wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit in Kapitel 4.4 lassen sich die nachfolgend skizzierten Anpassungen und Erweiterungen ableiten:

- **Standardisierung von Ereignissen:** Ein Ereignis repräsentiert im Sinne des Telemonitorings eine einzelne Vitalwertmessung. Gemäß Fragestellung 1 und Fragestellung 7 sowie den Anforderungen A1, A 5 und A7 bedarf es einer Standardisierung derart, dass eine infrastrukturübergreifende Verarbeitung nach den Prinzipien der Informationslogistik und des CEPs möglich wird. Hierzu sind existierende und etablierte Standards aus dem Bereich des Gesundheitswesens, insbesondere HL7, zu berücksichtigen. Hierauf basierend muss ein einheitliches Format definiert werden, in welches die Vitalwertdaten verschiedener Sensoren transformiert werden können.
- **Flexibilisierung und Modularisierung:** Existierende Konzepte, wie EPAs und EPNs, ermöglichen eine Strukturierung der Verarbeitung von Ereignissen. Entsprechend der Fragestellung 3 sowie den Anforderungen A5 und A7 müssen diese hinreichend spezialisiert

werden, um ähnlich eines Steckers, ein Plug&Play also ein Zusammenspiel von verschiedenen Verarbeitungsbausteinen zu ermöglichen. Hierzu sind die In- und Outputs sowie der Prozess zur Verarbeitung innerhalb dieser Bausteine zu definieren.

- Informationslogistische Verarbeitung: Die Fragestellungen 2, 4, 5 und 6 sowie die Anforderungen A2, A3, A4, A8 und A9 erfordern Konzepte zur Verarbeitung der eintreffenden Ereignisse ein. Hierbei steht weniger der einzelne Algorithmus im Vordergrund, als mehr die Beschreibung des Wegs zur Verdichtung von Daten (in Form von Vitalwerten) zu entscheidungsrelevanten Informationen unter Nutzung existierender Algorithmen. Hierzu sind Schnittstellen sowie Mindestanforderungen zur Einbindung eben solcher zu konzipieren.

4.6 Zusammenfassung

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die wesentlichen Anforderungen sowie Fragestellungen zur Konzeption eines Systems zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten erarbeitet und in Bezug zu existierenden Vorarbeiten gesetzt. Insgesamt wurden acht Veröffentlichungen aus dem Bereich des Telemonitorings zur Benennung relevanter Anforderungen herangezogen. Das zu konzipierende System hat insgesamt zwölf funktionale und vier hoch priorisierte nichtfunktionale Anforderungen zu erfüllen. Letztere wurden entlang der ISO/IEC 9126 klassifiziert. Neben den Anforderungen wurden sieben Kernfragestellungen erarbeitet, welche im Rahmen der Konzeption zu berücksichtigen und zu beantworten sind – stellen sie doch wesentliche Erfolgsfaktoren für ein entsprechendes System dar.

Ein Abgleich der Anforderungen und Fragestellungen mit den existierenden Ansätzen zeigte schnell, dass es insbesondere an einer Beschreibung von Ereignissen für eine infrastrukturübergreifende Verarbeitung im Bereich des Telemonitorings fehlt. Zudem ergab sich, dass die Konzepte des CEPs zur Gewährleistung einer modularen und flexiblen Verarbeitung hinsichtlich der Anforderungen spezialisiert werden müssen, indem In- und Outputs definiert bzw. standardisiert werden. Eine ganzheitliche Lösung sollte jedoch nicht nur Konzepte des CEPs, sondern auch des CDS und agentenbasierter Systeme berücksichtigen, erfüllen sie einzeln genommen doch immer einen kleinen Teil der Anforderungen.

Im nachfolgenden Kapitel 5 gilt es nunmehr, unter Berücksichtigung der Anforderungen und Fragestellungen ein Ereignisformat zu konzipieren, welches den Anforderungen des Telemonitorings, der Informationslogistik und des CEPs genüge tut. Zudem sind die Konzepte der EPAs und der EPNs hinreichend für eine informationslogistische Verarbeitung zu spezialisieren und standardisieren. Abschließend müssen Prozesse und Mindestanforderungen an Algorithmen zur Gewährleistung einer modularen, flexiblen und infrastrukturübergreifenden Verarbeitung festgelegt werden.

5 Erweiterung einer ILOG-Engine zur modularen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des CEPs

5.1 Einleitung

Eine informationstechnologische Lösung zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinisch ermittelter Vitalwerte zu konzipieren und zu implementieren, erfordert:

1. den Aufbau informationslogistischer Anwendungen zu berücksichtigen.
2. die Konzepte und Basisbausteine des Complex Event Processings in die Konzeption einer informationslogistischen Anwendung mit einzubringen.
3. die Anforderungen und Fragestellungen gemäß Kapitel 4 zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieses Kapitels wird gezeigt, wie Konzepte der Informationslogistik mit Konzepten des Complex Event Processings verbunden werden können. Hierzu wird zu Beginn der klassische Aufbau eines informationslogistischen Systems skizziert und eine Definition für eine ILOG-Engine abgeleitet. Anschließend werden die Basisbausteine zur Konzeption von ereignisverarbeitenden Systemen vorgestellt und aufgezeigt, an welchen Stellen Modifikationen zum Zweck einer Verarbeitbarkeit telemedizinischer Ereignisse durchgeführt werden müssen. Wesentlich hierbei ist es, einen direkten Bezug zu den in Kapitel 4.3 erarbeiteten offenen Fragen zu nehmen. Dies führt zu der Definition und Konzeption der telemedizinischen Ereignisse (Kapitel 5.3), der telemedizinischen ILOG Listener (Kapitel 5.4) und der telemedizinischen ILOG Listener Profile (Kapitel 5.5).

Es wird darauf hingewiesen, dass Teile der nachfolgenden Konzepte auf eigenen Veröffentlichungen basieren. Der Einsatz von CEP und HL7 wurde initial in [Mei11] skizziert. Anschließend wurde die Darstellung von Vitalwerten in Form von telemedizinischen Ereignissen in [Mei12] diskutiert. Die Möglichkeit zur Ergänzung telemedizinischer Ereignisse um Kontextinformationen ist in [MK13] beschrieben worden. Die Strukturierung unter Zuhilfenahme von TIL-Profilen wurde in [MS12a, MS12b] aufgearbeitet. Die Bereitstellung der Konzepte als telemedizinische ILOG Event Engine wurde in [MSS13b] und [MSS13a] positioniert.

5.2 Informationslogistische Systeme und Complex Event Processing

Die Konzeption und Implementierung eines informationslogistischen Systems muss entlang des Leitziels einer bedarfsgerechten Informationsversorgung erfolgen. Wie in Kapitel 3.2 erarbeitet bedeutet dies, den Informationsbedarf zu erkennen, um so die Menge an Informa-

tionen intelligent verarbeiten zu können und den Effekt der Informationsübersorgung zu minimieren. Hierzu kann ein charakteristischer Aufbau für informationslogistische Anwendungen, wie in Abbildung 13 gezeigt, skizziert werden.

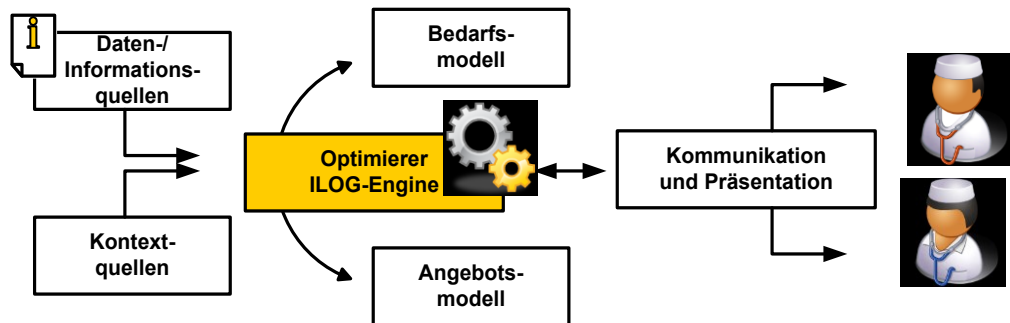


Abbildung 13: Aufbau informationslogistischer Anwendungen nach [DLB+01, BDFK+99].

Die folgenden Module sind bei der Konzeption und Realisierung eines informationslogistischen Gesamtsystems zu berücksichtigen:

- Daten-/Informationsquellen: Die Information ist das wesentliche Gut, welches durch die Anwendung der Informationslogistik effizient zwischen verschiedenen Punkten transportiert werden soll. Respektive bedarf es einer oder einer Menge an Informationsquellen, wobei dies auch eine Datenquelle sein kann, aus welcher durch Verdichtung Informationen abgeleitet werden können.
- Kontextquellen: Die Entstehung einer Information erfolgt immer unter Berücksichtigung eines Kontextes. Der Kontext wiederum besteht aus einer Menge verschiedenster Parameter. Abhängig von der Anzahl eben dieser entstehen multidimensionale Modelle. Ein Beispiel für einen Kontext ist der Messungskontext zu einer Vitalwertmessung. An eine Messung können die Kontextinformationen Zeit sowie Ort gebunden werden. Der Ort wiederum kann semantisch als Position am Körper oder aber als räumliche Verortung interpretiert werden. Aus diesem Grund besteht zu einer Kontextquelle immer auch ein Kontextmodell.
- Bedarfsmodelle: Bedarfsmodelle spezifizieren, wie sog. Bedarfsprofile erstellt werden müssen. Ein Bedarfsprofil ist eine Formalisierung des Informationsbedarfs eines Nutzers. Unter Anwendung eben dieses sowie Berücksichtigung weiterer Parameter multidimensionaler Modelle (z. B. Ort oder Zeit) bestimmt das System die Relevanz einer Information.
- Angebotsmodelle: Ein Angebotsmodell bestimmt, wie der Leistungsumfang eines informationslogistischen Systems ausgedrückt werden soll. Der ILOG-Engine obliegt die Korrelation des Bedarfs (Bedarfsmodell) und der möglichen Angebote (Angebotsmodell).

- ILOG-Engine: Der Kern einer informationslogistischen Anwendung wird durch die ILOG-Engine gebildet. Ihr obliegt die Vermittlung zwischen den Informationsangeboten und den Informationsbedarfen. Zur Verarbeitung wird nicht nur die Information selber genutzt, sondern auch Kontextinformationen, wie z. B. Ort und Zeitpunkt der Entstehung der Information.
- Kommunikation und Präsentation: Das Ergebnis der Verarbeitung durch die ILOG-Engine muss zum Zweck der Bedarfserfüllung zu seinem Zielort transportiert werden. Der Transport kann über verschiedenste Kommunikationskanäle erfolgen und dem Empfänger auf unterschiedlichste Art und Weise präsentiert werden. Eben diese Koordination obliegt diesem Modul.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Konzeption und Implementierung einer ILOG-Engine, welcher die intelligente Verarbeitung der telemedizinischen Ereignisse auf Basis des Complex Event Processings obliegt. Abgeleitet aus der obigen Beschreibung eines informationslogistischen Systems kann eine ILOG-Engine definiert werden als ein n-Tupel bestehend aus $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$:

- IQ: Informationsquelle, hier die telemedizinischen Vitalwertsensoren.
- KQ: Kontextquelle, hier ebenfalls die telemedizinischen Vitalwertsensoren.
- BM: Bedarfsmodell zur Formalisierung des medizinischen Informationsbedarfs.
- AM: Angebotsmodell zur Formalisierung des Informationsangebots, welches nach Verarbeitung von Informationen der IQ durch die VE zur Verfügung steht.
- VE: Verarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Informationen aus der IQ unter Berücksichtigung des Informationsbedarfs.

Hieraus abgeleitet ergibt sich die folgende Definition:

Definition 23 – ILOG-Engine: Der Kern einer jeden informationslogistischen Anwendung ist die ILOG-Engine, definiert als ein n-Tupel der Form $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$. Hierbei ist IQ die Informationsquelle, KQ die Kontextquelle, BM das Bedarfsmodell, AM das Angebotsmodell und VE die Verarbeitungseinheit.

Als maßgebliche Technologie der Verarbeitungseinheit soll das Complex Event Processing eingesetzt werden. CEP ermöglicht die Verarbeitung von Daten, die in Form von Events repräsentiert werden. Etzion und Luckham [EN10, Luc02] schlagen deshalb eine Abstraktion der zur Ereignisverarbeitung benötigten Bausteine vor, die unabhängig von jedweder Implementierung ist. Abbildung 14 zeigt die sieben Basisklassen zur Konzeption eines Systems

zur Ereignisverarbeitung nach Etzion [EN10]. Das Ergebnis der Modellierung bezeichnet er als Event Processing Network.

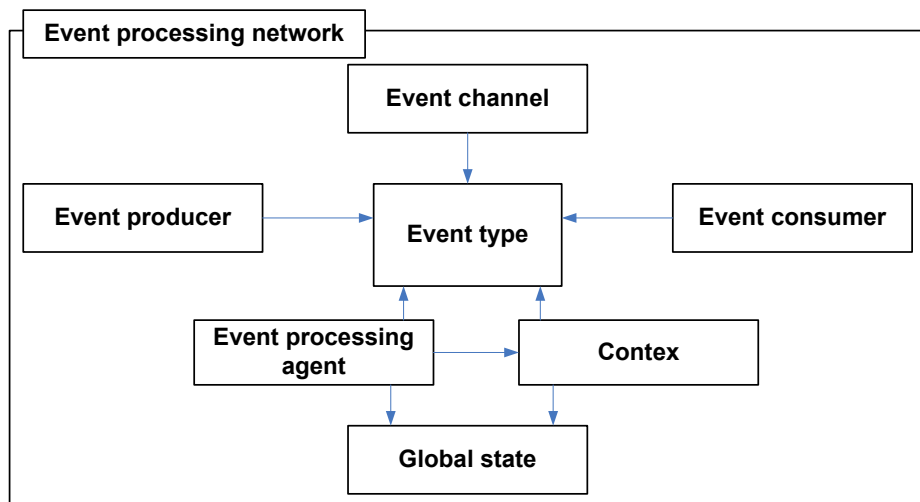


Abbildung 14: Die sieben Basisbausteine der Ereignisverarbeitung nach [EN10].

Voraussetzung zur Verarbeitung von Ereignissen ist das Vorhandensein eines bzw. einer Menge von ereigniserzeugenden Systemen (event producer). Diese emittieren Ereignisse auf Basis eines vorab spezifizierten Ereignistypen (event type), welche an ein oder eine Menge von empfangenden Systemen (event consumer) übermittelt werden. Die Übermittlung kann durch Einsatz eines steuernden Kanals (event channel) organisiert und beeinflusst werden. Die Logik zur Verarbeitung, Filterung und Aggregation von Ereignissen wird in den Event Processing Agents gekapselt. Diese wiederum können auf global vorgehaltene Metadaten (global state) sowie kontextbezogene Daten (context) zugreifen.

Die theoretischen Möglichkeiten zur Verarbeitung von Ereignissen werden, wie in Kapitel 3.3.2 erläutert, zu einem großen Teil durch die verwendete Event Processing Engine determiniert. Die EPE stellt sämtliche Basistechnologien zur Verfügung und implementiert die o.g. Basisbausteine. Da es keinen Standard zur Beschreibung von Ereignissen gibt, bestimmt die EPE ebenfalls die interne sowie externe Repräsentation eben dieser. Hieraus abgeleitet und wie in Kapitel 4.3 erarbeitet, ergeben sich diverse Fragestellungen hinsichtlich einer Nutzbarkeit des CEPs zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Angelehnt an Abbildung 14 zeigt Abbildung 15 die notwendige Erweiterung und Anpassung der Basisklassen zur Konzeption einer ILOG-Engine zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Rot markiert sind die Bereiche, welche Kern dieser Ausarbeitung sind.

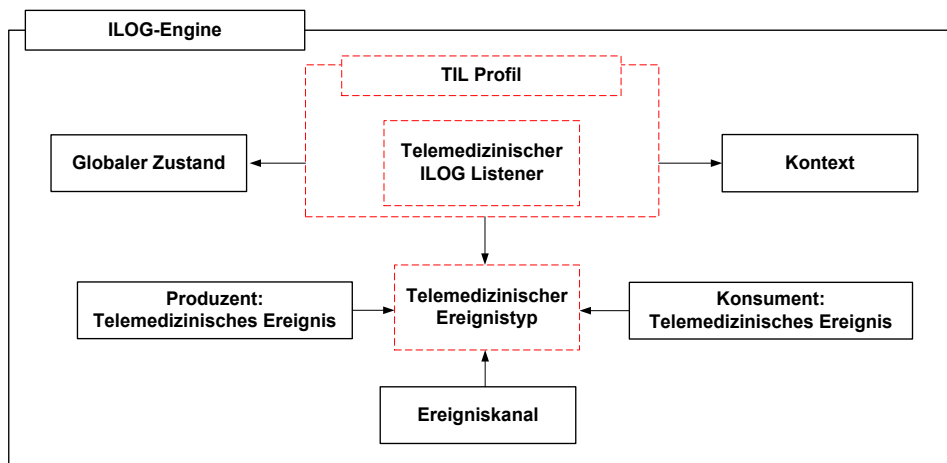


Abbildung 15: Bausteine zur Modellierung der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Arbeitsergebnisse dieser Ausarbeitung sind rot markiert.

Im Mittelpunkt der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse steht die ILOG-Engine, welche eine Menge von TIL-Profilen verwaltet. Respektive ist nicht mehr das EPN der Nukleus der Architektur, womit eine Erweiterung des Konzeptes nach Etzion notwendig ist. Ereignisse werden durch einen telemedizinischen Sensor (z. B. Blutdruckmessgerät) oder eine telemedizinische Software erzeugt (Produzent). Aufgrund domänenspezifischer Anforderungen aus den Bereichen Telemedizin, CEP und ILOG wird der Begriff des telemedizinischen Ereignisses eingeführt. Der Aufbau eines solchen Ereignisses folgt der Spezifikation eines telemedizinischen Ereignistypen. Dieser spezialisiert den stark generischen Aufbau nach Etzion [EN10] zum Zweck einer informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Eine detaillierte Definition des Begriffs des telemedizinischen Ereignisses sowie des telemedizinischen Ereignistypen erfolgt in Kapitel 5.3. Empfänger telemedizinischer Ereignisse (Konsumenten) sind, zumeist vermittelt über eine Software, Ärzte und anderes medizinisches Personal. Den in Kapitel 1.1 genannten Problemen der Informationsüberversorgung sowie den in Kapitel 4.2 dargestellten Anforderungen gerecht zu werden bedeutet, Informationen in Form telemedizinischer Ereignisse intelligent zu filtern, zu aggregieren und zu transportieren. Hierzu wird in Kapitel 5.4 das Konzept der telemedizinischen ILOG Listener eingeführt, eine Erweiterung des Begriffs der Event Processing Agents. Im Unterschied zu Etzion sind diese kein direkter Baustein des Event Processing Networks, sondern werden durch ein sog. TIL-Profil gekapselt. Hierbei handelt es sich um einen neuen Baustein, der angelehnt an das Konzept der EPNs, telemedizinische ILOG Listener miteinander vernetzt und erweiternd hierzu die Ergebnisse der einzelnen TILs aggregiert. Eine ausführliche Definition erfolgt in Kapitel 5.5.

Bezogen auf **Definition 23** einer ILOG-Engine ergibt sich der folgende Zusammenhang zu den in Abbildung 15 gezeigten und zu entwickelnden Konzepten der telemedizinischen ILOG Listener, der TIL-Profile sowie den telemedizinischen Ereignissen:

- **Telemedizinische Ereignisse:** Telemedizinische Ereignisse werden von einer Informationsquelle (IO), hier insbesondere Vitalwertsensoren, emittiert. Respektive repräsentieren diese die zu transportierende Information – den Vitalwert. Neben dem Vitalwert können an ein telemedizinisches Ereignis weitere Informationen, die Kontextinformationen, gebunden sein. Respektive ist ein Vitalwertsensor nicht nur Informations-, sondern auch Kontextquelle. Zu den typischen Kontextparametern gehören z. B. die an einer Messung beteiligten Akteure, der Ort sowie der Zeitpunkt.
- **TIL-Profile:** Die durch die TIL-Profile erreichte patientenbezogene Kapselung von Verarbeitungsroutinen ermöglicht es, den Informationsbedarf zur Verarbeitung patientenbezogener telemedizinischer Ereignisse in einer Einheit zusammenzuführen und als bedarfsgerechte Information zuzustellen. Respektive bildet das TIL-Profil die Schnittstelle zwischen dem Bedarfsmodell und dem Angebotsmodell und schreibt vor, in welcher Art und Weise der Bedarf zu formulieren ist und welches Informationsangebot zur Bedarfserfüllung zur Verfügung steht. Diese Vorschriften zur Verdichtung von Informationen mit dem Zweck der Bedarfserfüllung sind in Form von Regeln hinterlegt, womit das TIL-Profil expliziter Bestandteil der Verarbeitungseinheit ist.
- **Telemedizinische ILOG Listener:** Die telemedizinischen ILOG Listener sind ein Teil der TIL-Profile und somit ebenfalls Bestandteil der Verarbeitungseinheit einer ILOG-Engine.

Im Folgenden wird die konzeptionelle Trias aus telemedizinischem Ereignis, telemedizinischen ILOG Listnern und TIL-Profilen detailliert beschrieben.

5.3 Telemedizinische Ereignisse und Ereignistypen

Die Welt, in der wir uns bewegen, ist nicht statisch, sondern dynamisch. Das kontinuierliche Eintreten von Ereignissen symbolisiert Statusänderungen im Gesamtsystem. Wie in Kapitel 3.3 herausgearbeitet kann ein Ereignis als „anything that happens, or is contemplated as happening“ generalisiert werden [LS08]. Die Beschreibung eines Ereignisses kann sich somit an den folgenden Fragestellungen orientieren:

- Was für ein Ereignis ist eingetreten?
- Warum ist das Ereignis eingetreten?
- Wann ist das Ereignis eingetreten?
- Wo ist das Ereignis eingetreten?

- Wer ist an dem Eintreten des Events beteiligt?

Neben den Basisinformationen, die das entstandene Ereignis sowie den auslösenden Grund beschreiben, können an ein Ereignis somit weitere Arten von Informationen gebunden sein:

- **Zeitbasierte Informationen:** Innerhalb dieser Klasse werden Zeitaspekte wie die Emittierung, Erkennung und Verarbeitung eines Ereignisses beschrieben. Die verschiedenen Zeitdimensionen spielen insbesondere bei der Auswertung temporaler Beziehungen zwischen Ereignissen eine entscheidende Rolle.
- **Ortsbasierte Informationen:** An das Auftreten eines Ereignisses ist immer auch der Ort des Auftretens gebunden. Die Ortsbeschreibung unterstützt die semantische Einordnung eines Ereignisses.
- **Akteursbasierte Informationen:** Akteure sind direkt oder indirekt an der Entstehung bzw. Emittierung eines Ereignisses beteiligt.

Historisch betrachtet, besitzen aus Sicht der Informationslogistik insbesondere die Dimensionen Ort, Zeit und Inhalt eine dominierende Rolle zur Beschreibung einer Information. Respektive berücksichtigt ein Ereignis informationslogistische Dimensionen, wie sie auch in Kapitel 3.2 benannt wurden.

Wie in den **Fragestellungen 1 und 7** sowie den Anforderungen **A1 und A7** formuliert, ergeben sich domänenbedingte Anforderungen an die Ausgestaltung eines Ereignisses zur Verarbeitung dieser in telemedizinischen Szenarien. Somit ergibt sich die Notwendigkeit einer Spezialisierung des Ereignisbegriffs durch Festlegung von zu erfüllenden Anforderungen und Konzepten zur Realisierung eben dieser. Im Folgenden werden hierzu der Begriff des telemedizinischen Ereignisses definiert, telemedizinische Ereignistypen eingeführt und die Repräsentation des telemedizinischen Ereignisses über ein HL7-basiertes Format erarbeitet.

5.3.1 Definition eines telemedizinischen Ereignisses

Die gängigen Definitionen eines Ereignisses nach Luckham oder Etzion [LS08, Luc02, EN10] als Beschreibung einer Zustandsänderung der realen Welt besitzen ein sehr hohes Abstraktionsniveau und überlassen die konkrete Ausgestaltung eines solchen der jeweiligen Implementierung. Aus Sicht der Telemedizin kann die Messung eines Vitalwertes ebenfalls als eine Zustandsänderung, respektive als einfaches Ereignis, interpretiert werden. Allen [AF94] unterscheidet hierbei die Charakteristik des Auftretens eines Ereignisses in forcierte Ereignisse (triggered), geplante Ereignisse (definite) und spontane Ereignisse (spontaneous). Ein telemedizinisches Ereignis ist immer das Ergebnis einer kontrolliert ausgelösten Messung eines Vitalwertes.

Aus der Messung eines einzelnen Vitalwertes können, z. B. durch Zusammenfassung einer Menge von Ereignissen verschiedener Vitalwerte, höherwertige bzw. komplexe Ereignisse entstehen, welche die Änderung des Gesundheitszustands eines Patienten beschreiben. Aus medizinischer Sicht ergeben sich notwendige Informationen, welche zusätzlich an den reinen Vitalwert gebunden werden müssen, um eine Interpretierbarkeit des Datums gewährleisten zu können. Beispiele für solche Informationen sind z. B. der Ort der Messung oder auch das eingesetzte Gerät. Solche zusätzlichen Informationen beeinflussen den strukturellen Aufbau eines Ereignisses, müssen sie doch in diesem repräsentiert werden können. Auch aus Sicht der Verarbeitbarkeit durch eine Event Processing Engine ergeben sich, abhängig von deren Mächtigkeit (Filterung, Aggregation, Transformation) und insbesondere der zugrunde liegenden Event Processing Language, Anforderungen an den strukturellen Aufbau. Die strukturelle Ausgestaltung von Ereignissen erfolgt durch die Instanziierung sog. Ereignistypen (siehe Kapitel 5.3.2) – eine Art Bauplan für das zukünftige Ereignis. Zuletzt bedarf es einer Darstellung des Ereignisses in einer für die beteiligten IT-Systeme verständlichen Repräsentationsform. Wie bereits beschrieben soll hier HL7 als Sprache zur Beschreibung eines Ereignisses eingesetzt werden (siehe Kapitel 5.3.3).

Formal ist ein telemedizinisches Ereignis ein n-Tupel der Form $e_i^T := (e_i, HL7_{Trans})$ wobei:

- $E^T := \bigcup_{i=1}^{\infty} e_i^T$ ist die Menge aller telemedizinischen Ereignisse.
- $e_i \in E$ ist ein Ereignis auf Basis eines telemedizinischen Ereignistypen $et \in ET$ gemäß **Definition 25**.
- $HL7_{Trans}: E \rightarrow E^T$ ist eine Transformationsvorschrift zur Abbildung eines auf dem telemedizinischen Ereignistypen $et_{telemed}$ basierenden Ereignisses $e_i \in E$ in das HL7 Telemedical Event Format $HL7_{Trans}(e_i) = e_i^T$, wobei $e_i^T \in E^T$. Das Ergebnis wird als transformiertes telemedizinisches Ereignis bezeichnet.

Zwei telemedizinische Ereignisse sind identisch $e_i^T \equiv e_j^T$ wenn $e_i = e_j$ und $HL7_{Trans}(e_i) = HL7_{Trans}(e_j)$.

Zusammenfassend lässt sich somit ein telemedizinisches Ereignis wie folgt definieren:

Definition 24 – Telemedizinisches Ereignis: Ein telemedizinisches Ereignis ist ein n-Tupel $e_i^T := (e_i, HL7_{Trans})$, respektive die Instanz eines telemedizinischen Ereignistypen unter Berücksichtigung gegebener Daten $e_i = instance_{ET}(et, data)$ und einer Abbildungsvorschrift $HL7_{Trans}$ zur Darstellung des Ereignisses als HL7 Telemedical Event. Das Ergebnis der Abbildung $HL7_{Trans}(e_i) = e_i^T$ wird als transformiertes telemedizinisches Ereignis oder kurz telemedizinisches Ereignis bezeichnet.

Nachfolgend wird nunmehr der Begriff des telemedizinischen Ereignistypen eingeführt und der strukturelle Aufbau beschrieben.

5.3.2 Telemedizinische Ereignistypen

Angelehnt an die objektorientierte Welt und die existierenden Programmiersprachen sind telemedizinische Ereignisse Instanzen eines Ereignistypen. Ein Ereignistyp ist eine Art Template zur generalisierten Beschreibung des Aufbaus eines telemedizinischen Ereignisses. So wird sichergestellt, dass jedes Ereignis ein gemeinsames Minimum an Informationen, respektive Attributen, inne hat.

Dies bedeutet, dass unabhängig davon, ob es sich beim jeweiligen telemedizinischen Ereignis um einen Blutzuckerwert, einen Blutdruckwert oder das Gewicht handelt, allen eine Menge von Attributen gemeinsam ist, die eine Verarbeitbarkeit im Sinne des CEPs und der ILOG gewährleistet.

Etzion [EN10] unterscheidet drei Segmente, in denen Informationen über ein Ereignis abgelegt werden. Im sog. „Header-Segment“ sind Meta-Attribute abgelegt, die zur Beschreibung des Ereignistypen dienen. Im „Payload-Segment“ werden, in Abhängigkeit zum jeweiligen Ereignistypen, die instanzspezifischen Attribute beschrieben. Zuletzt besteht die Möglichkeit, im „Open Content-Segment“ Freitextinformationen zu hinterlegen. Diese Einteilung ist für die Definition eines telemedizinischen Ereignistypen unzureichend, denn:

- Die Typisierung muss die Möglichkeit zur Einbindung existierender Kataloge (Taxonomien, Ontologien) des Gesundheitswesens bieten, z. B. SNOMED, oder aber zum Zweck der Ereignisverarbeitung eigens erstellte einbinden können.
- Es besteht die Notwendigkeit der logischen Repräsentation zweier Klassen von Attributen, zum einen den ILOG- und zum anderen den CEP-Attributen. Hierzu gehören z. B. Attribute zur Beschreibung der Dimensionen Zeit und Ort des Auftretens.
- Es muss eine explizite Möglichkeit zur Repräsentation des medizinischen Inhalts, also des gemessenen Vitalwertes, geben. Zudem können an diesen weitere medizinische Informationen gebunden sein.
- Eine Abbildung zwischen der modellbasierten Beschreibung nach Etzion und dem HL7 RIM ist nicht logisch impliziert.

Aus den o.g. Gründen wird eine Erweiterung des Modells von Etzion sowie eine Anpassung der Segment-Definitionen entsprechend Abbildung 16 vorgeschlagen.

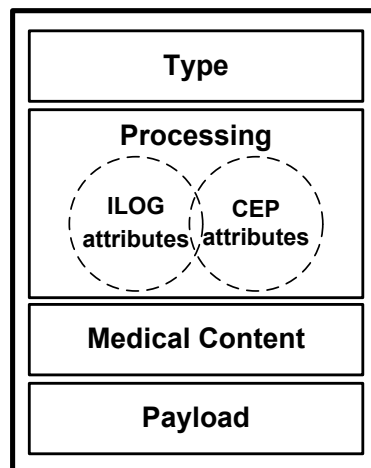


Abbildung 16: Skizzierung des Aufbaus eines telemedizinischen Ereignistypen.

Das „Type-Segment“ enthält lediglich Informationen, die den Ereignistypen spezifizieren. Zum Beispiel ist hier ein Identifier denkbar, der auf eine Taxonomie telemedizinischer Ereignistypen verweist. Das nachfolgende „Processing-Segment“ dient der Definition von notwendigen Attributen zur Verarbeitung durch die ILOG-Engine. Dieses Segment wird logisch unterteilt in ILOG- sowie CEP-spezifische Attribute. Ähnlich eines Schnittmengen-Diagramms wird es Attribute geben, die in beiden Kontexten zum Einsatz kommen können wie z. B. Zeitattribute. Im nachfolgenden „Medical Content-Segment“ wird der gemessene Vitalwert, z. B. der Blutdruck, eingetragen. Auch eine Erweiterung durch Metainformationen, wie die Referenzierung weiterer Patientendaten, ist hier möglich. Zuletzt wird über das „Payload-Segment“ die Möglichkeit bereitgestellt, unspezifische Erweiterungen einzuführen, die jedoch nicht zwingend durch die jeweilige ILOG-Engine berücksichtigt werden. Somit schließt sich nahtlos die Frage nach den relevanten Attributen in den vier Segmenten an, die im Folgenden erörtert wird.

Formal wird ein telemedizinischer Ereignistyp definiert als ein n -Tupel der Art $et \in ET = (TP, PR, MC, PL)$ wobei:

- $TP := \{A | A \text{ ist ein Typattribut}\}$
- $PR := \{A | A \text{ ist ein Verarbeitungsattribut}\}$
- $MC := \{A | A \text{ ist ein Attribut zur Beschreibung des medizinischen Inhalts}\}$
- $PL := \{A | A \text{ ist ein Payloadattribut}\}$

Die Abbildung $instance_{ET}: ET \times DATA \rightarrow E$ ist eine Abbildungsvorschrift zur Instanziierung für ein Ereignis $e_i \in E$ auf Basis eines Ereignistypen $et \in ET$ und vorgegebenen.

Aus der fachlichen wie formalen Darstellung folgt die nachfolgende Definition:

Definition 25 – Telemedizinischer Ereignistyp: Ein telemedizinischer Ereignistyp $ET = (TP, PR, MC, PL)$ ist ein n-Tupel im Sinne eines Templates zur Vorgabe von Basisattributen, die durch jedes telemedizinische Ereignis zu erfüllen sind.

5.3.2.1 Attribute eines telemedizinischen Ereignistypen

Die Erarbeitung der Attribute eines telemedizinischen Ereignistypen muss entlang der Anforderungen aus den folgenden drei Bereichen erfolgen:

- **Complex Event Processing:** Aus Sicht des CEPs gibt es notwendige Attribute, um eine Verarbeitung, z. B. die zeitliche Korrelation von Ereignissen, durchführen zu können.
- **Informationslogistik:** Zur Realisierung der informationslogistischen Metapher einer Verarbeitung eines Transportes der richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort müssen u.a. Attribute zur Beschreibung von Ort und Zeit definiert werden.
- **Telemedizin:** Die Telemedizin macht die Berücksichtigung von Attributen erforderlich, die eine (semi-)automatische Beurteilung der medizinischen Situation eines Patienten ermöglichen. Sie erweitern somit die informationslogistische Sicht gemäß **Definition 12** hinsichtlich einer bedarfsgerechten Verarbeitung.

Gemäß Abbildung 16 wurden vier Segmente identifiziert, welche ein telemedizinisches Ereignis strukturell beschreiben. Nunmehr gilt es, die relevanten Attribute zu spezifizieren, indem ein Attributname, ein Datentyp und eine Beschreibung vergeben werden. In Tabelle 12 sind die im Folgenden genutzten Datentypen beschrieben.

Tabelle 12: Auflistung der eingesetzten Datentypen.

Datentyp	Beschreibung
Catalogue	Ein Katalog ist eine Taxonomie oder Ontologie, also eine Ordnung von Elementen ähnlich eines Telefonbuchs. Das jeweilige Attribut referenziert einen Eintrag dieses Katalogs über einen Identifier.
Complex	Bei einem komplexen Datentypen handelt es sich um ein Objekt.
Timestamp	Über einen Timestamp wird ein Zeitpunkt gespeichert.
Boolean	Im Sinne einer Aussagenvariable oder aber einer Binärzahl können genau zwei Zustände angenommen werden (true/false, 0/1).
String	Die Ablage von Textinformationen erfolgt in String-Attributen.

Type-Segment

Essentiell ist die Bereitstellung eines Identifiers zur eindeutigen Identifizierung des Ereignistypen. Hierzu wird im Type-Segment über das Attribut *eventTypeID* auf einen Eintrag in einem Katalog referenziert. Im medizinischen Umfeld, insbesondere bei der Nutzung von HL7, existieren bereits eine Vielzahl von Katalogen, wie z. B. SNOMED [Int13] oder LOINC [Reg13b].

Als weiteres Attribut hat der ereignismittierende Akteur den genutzten Zeitgeber im Attribut *timeEmitter* festzulegen. Alle nachfolgenden Akteure, die zeitbasierte Daten in das Ereignis schreiben wollen, müssen diesen nutzen. Im *timeEmitterComplex* Objekt wird neben der Adresse des Zeitgebers auch die minimale Granularität (Sekunde, Minute, Stunde) festgelegt.

Tabelle 13: Zusammenfassung der Attribute des Type-Segments.

Attributname	Datentyp	Beschreibung
eventTypeID	Catalogue	Identifier zur eindeutigen Identifizierung des Ereignistypen.
timeEmitter	Catalogue	Zeitgeber des ereignismittierenden Akteurs.

Processing-Segment

Die Definition der Attribute zur Verarbeitung umfasst die Benennung solcher, die notwendig sind aus informationslogistischer Sicht, aus Sicht des Complex Events Processings und aus der fachlichen Sicht der Telemedizin. Nur so kann eine Verarbeitung gewährleistet werden, welche den Anforderungen einer informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten entspricht.

Das Attribut *simpleEvent* ermöglicht die Markierung der Ereignisinstanz als einfaches Ereignis. Im Falle einer Attributierung mit *false* gilt dieses Ereignis als komplexes Ereignis. Da es sich bei einem telemedizinischen Ereignis immer um ein einfaches Ereignis handelt, ist dieser Wert stetig *true*.

Zur Identifizierung eines Ereignisses im Sinne eines biometrischen Merkmals, wird das Attribut *eventID* eingesetzt. Aufgrund der hohen Anzahl an Ereignissen müssen hinreichend kollisionsfreie Mechanismen zur Generierung von ID's vorgesehen werden, z. B. OIDs.

Ein telemedizinisches Ereignis beschreibt immer die Messung eines Vitalwertes eines Patienten. Zum Zweck der Korrelation von Ereignissen eines Patienten ist über das Attribut *patientID* ein identifizierendes Merkmal anzugeben. Das Problem ist jedoch nicht trivial lösbar,

denn die Ereignisverarbeitung muss geräteherstellerübergreifend erfolgen. Konzeptionell sind hier Mechanismen wie z. B. die Nutzung eines Master Patient Index (MPI) denkbar.

Die Benennung des Zeitpunktes der Erzeugung des Ereignisses wird über das Attribut *createTime* beschrieben. Innerhalb der Ereignisverarbeitung spielen Zeitstempel sowohl zur fachlichen wie auch zur informationslogistischen Verarbeitung eine entscheidende Rolle. Hierbei werden weitere Zeitstempel wie im Folgenden beschrieben unterschieden.

Über das Attribut *detectionTime* wird der Zeitpunkt beschrieben, an welchem das Ereignis zum ersten Mal durch die Event Processing Engine erfasst, jedoch noch nicht verarbeitet wurde.

Der Zeitpunkt der Verarbeitung des Ereignisses wird über das Attribut *processTime* ausgedrückt.

Die *eventSource* eines Ereignisses ist der Akteur, welcher das Ereignis ausgelöst hat. Im Sinne der Telemedizin handelt es sich hierbei zumeist um einen Sensor, z. B. einem Blutdruckmessgerät oder eine Waage. Denkbar sind hier zusätzliche Angaben, wie z. B. der Hersteller des Gerätes oder aber der Verweis auf einen Katalog.

Die Zustellung eines Ereignisses erfolgt auf technischer Ebene zumeist unidirektional, d. h. es erfolgt keine Adressierung des Empfängers. Zwar ist dies auf Nachrichtenebene hinreichend, jedoch auf Inhaltsebene unzureichend. Im Sinne der Informationslogistik können Inhalte für eine Personengruppe relevanter sein als für eine andere. Aus diesem Grunde kann über das Attribut *receivingResponsibility* eine Liste möglicher Empfänger der Inhalte benannt werden.

Der Ort der Messung wird über das Attribut *location* beschrieben. Im Sinne der Telemedizin erfolgt die Messung zumeist im häuslichen Umfeld. Jedoch sind auch Szenarien denkbar, wie z. B. eine Sportüberwachung, die sowohl in einem Fitnessstudio wie auch beim Jogging draußen erfolgen kann. Im letzteren Fall könnten in einer kritischen Situation z. B. die GPS-Koordinaten genutzt werden.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Attribute des Processing-Segments.

Attributname	Datentyp	Beschreibung
simpleEvent	Boolean	Definition, inwiefern es sich um ein einfaches oder komplexes Ereignis handelt. Im Falle des telemedizinischen Ereignisses immer <i>true</i> .
eventID	String	Ein eindeutiger Identifikator des Ereignisses im Sinne eines biometrischen Merkmals.
patientID	Complex	Den Patienten infrastrukturübergreifender

		Identifikator.
detectionTime	Timestamp	Zeitpunkt der Erfassung des Ereignisses durch die EPE.
createTime	Timestamp	Zeitpunkt der Erzeugung des Ereignisses durch den ereignisemittierenden Akteur.
processTime	Timestamp	Zeitpunkt der Verarbeitung des Ereignisses durch die EPE.
eventSource	Complex	Benennung des Akteurs, der das Ereignis auslöst.
receivingResponsibility	Complex	Auflistung möglicher Empfänger der Inhalte.
location	Complex	Beschreibung des Ortes der Messung, z. B. durch Angabe der GPS-Koordinaten.

Medical Content-Segment

Die eigentliche telemedizinische Information, also der Vitalwert, wird im Medical Content Segment abgelegt. Zusätzlich zum Vitalwert können im Kontext der medizinischen Relevanz weitere medizinische Informationen hilfreich sein, welche ebenfalls in diesem Segment abgelegt werden.

Über den *medicalContentType* wird der Typ einer zusätzlichen medizinischen Information beschrieben. Hierzu wird auf einen externen Katalog verwiesen. Die medizinische Information selbst wird über das Attribut *medicalContent* eingebunden. Bei den hier beschriebenen Attributen handelt es sich um ein Tupel, welches in einer N-M-Beziehung zum Ereignis steht. An ein telemedizinisches Ereignis kann also eine Menge von zusätzlichen medizinischen Informationen gebunden werden, und eine medizinische Information kann an mehrere telemedizinische Ereignisse eines Patienten gebunden sein.

Abhängig vom Typ der telemedizinischen Information wird das Attribut *telemedicalValueType* ausgefüllt. Der telemedizinische Wert wird im Attribut *telemedicalValue* abgelegt.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Attribute des Medical Content-Segmentes.

Attributname	Datentyp	Beschreibung
medicalContextType	Catalogue	Der Typ der zusätzlich eingebundenen medizinischen Information.
medicalContext	Complex	Die medizinische Information selbst.
telemedicalValueType	Catalogue	Der Typ der telemedizinischen Information.
telemedicalValue	Complex	Der telemedizinische Wert selbst.

Payload-Attribute

Die Menge der notwendigen Payload-Attribute variiert in Abhängigkeit von der eingesetzten Event Processing Engine. Zur notwendigen Attributierung erfolgt eine Key-Value-Paar-

Darstellung, wobei es sich hier um eine 1-N-Beziehung handelt: Der Typ wird über *payloadAttributeType* angegeben und der Wert über *payloadAttributeValue*.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Attribute des Payload Segments.

Attributname	Datentyp	Beschreibung
payloadAttributeType	Catalogue	Der Typ des jeweiligen Payload-Attributes.
payloadAttributeValue	Complex	Der Wert des Payload-Attributes.

5.3.3 HL7 Telemedical Event Format

Um den Austausch von Ereignissen zwischen zwei Systemkomponenten gewährleisten zu können, bedarf es einer nachrichtenbasierten Übertragung. Definitiv muss der Begriff einer Nachricht zu dem eines Ereignisses jedoch klar abgegrenzt werden, denn nicht jedes Ereignis wird in Form einer Nachricht repräsentiert und nicht jede Nachricht enthält eine Beschreibung zu einem Ereignis [EN10]. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Interaktion zwischen zwei Systemkomponenten über eine Nachricht, die ein Ereignis beschreibt. Wie in Kapitel 1.1 und Kapitel 4.2 erarbeitet, agieren Systemkomponenten in telemedizinischen Szenarien stark verteilt. Verschiedene Typen von Vitalwertsensoren von verschiedenen Herstellern, die unterschiedliche Repräsentationsformen für ihre Daten besitzen, gilt es zu harmonisieren – respektive eine einheitliche Repräsentationsform für telemedizinische Ereignisse zu finden. Etzion [EN10] betont jedoch: „There is, at present, no single standard for the way that event instances or event types are represented.”

Somit bedarf es der Definition einer standardisierten Repräsentationsform für telemedizinische Ereignisse. Hierzu soll eine Brücke geschaffen werden, mit welcher es möglich ist, gemessene Vitalwerte in einer standardisierten Form ereignisbasiert zu kommunizieren. Auf Basis von HL7 und der IEEE 11073-Standardfamilie wird hierzu das HL7 Telemedical Event Format entwickelt.

5.3.3.1 Grundlagen zur Modellierung mit HL7

Der am häufigsten anzutreffende Standard zur Beschreibung medizinischer Daten im Gesundheitswesen ist HL7 (Health Level 7). Mittlerweile zu einem weltweiten Standard erwachsen, ist HL7 heute eine ANSI akkreditierte Standardisierungsorganisation und besitzt Übereinkünfte mit ISO und CEN. Die Wurzeln von HL7 lassen sich in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts finden, in welchen das noch heute häufig eingesetzte HL7 V2 Nachrichtenformat entwickelt wurde, derzeit aktuell in der Version 2.6 [Hin07]. Die Basis der HL7 V2 Nachrichtenkommunikation sind sog. Trigger-Events, welche auf unterschiedliche Nachrichtentypen abgebildet werden. Die ASCII-basierte Formatierung sieht wie folgt aus:

```
MSH|^~\&|GHH LAB|ELAB-3|GHH OE|BLDG4|200202150930||ORU^R01|CNTRL-3456|P|2.4
```

Die gestiegene Komplexität von Informationen im Gesundheitswesen lässt schnell die Grenzen von HL7 V2 erkennen. Benson [Ben10] weist hierzu auf ein Statement der HL7-Organisation hin: „Offering lots of optionality and thus flexibility, the V2.x series of messages are widely implemented and very successful. [...] There is neither a consistent view of that data that HL7 moves nor that data’s relationship to other data.” Die hohe Flexibilität von HL7 V2 und die fehlenden Vorgaben zum Design von HL7-Nachrichten führten zu einer Aufweichung des Standards, denn zu viele herstellereinspezifische Attribute machen einen intensiven Abstimmungsprozess erforderlich. Aus diesem Grund wurde im Jahre 1992 mit der Entwicklung von HL7 V3 begonnen.

Die Basis zur Beschreibung und Modellierung eines auf HL7 basierenden telemedizinischen Ereignisses sind die HL7-Informationsmodelle. Über diese werden die benötigten Klassen, Attribute, Datentypen, Beziehungen, Einschränkungen und Zustände abgebildet. Der HL7-Prozess basiert auf drei untereinander in Bezug stehenden Informationsmodellen:

- HL7 Reference Information Modell (RIM): HL7 RIM ist die Grammatik zur Erstellung von HL7 V3 Nachrichten und stellt dem Modellierer sechs Basisklassen, wie in Abbildung 17 gezeigt, zur Verfügung.
- HL7 Domain Message Information Modell (D-MIM): Über das Domänenmodell wird eine Teilmenge von Klassen, Attributen und Beziehungen definiert, welche zur Modellierung von Nachrichten für eine spezifische Domäne im Gesundheitswesen dienen. Ein D-MIM hat keine hierarchische Struktur und kann mehrere Einstiegspunkte besitzen. Aus diesem Grund besteht keine Möglichkeit zur Serialisierung dieser.
- HL7 Refined Message Information Modell (R-MIM): Das HL7 R-MIM kann unabhängig von einem D-MIM modelliert werden oder aber ein solches verfeinern. Im Unterschied zum D-MIM besitzt ein R-MIM nur einen Einstiegspunkt und somit eine hierarchische Struktur. Ein solches Modell kann in einem serialisierbaren Format ausgedrückt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Darstellung eines R-MIM in einer tabellarischen Form, genannt Hierarchical Message Description (HMD). Die weitere Verfeinerung eines R-MIM bzw. HMD ermöglicht die Ableitung eines Message Type (MT), welcher z. B. in eine XML-Struktur überführt werden kann.

Wie bereits beschrieben, bildet das HL7 RIM die Basis zur Ableitung der verfeinerten Informationsmodelle. Respektive wird jede HL7-Nachricht durch entsprechende Attributierung der Klassen aus diesen abgeleitet.

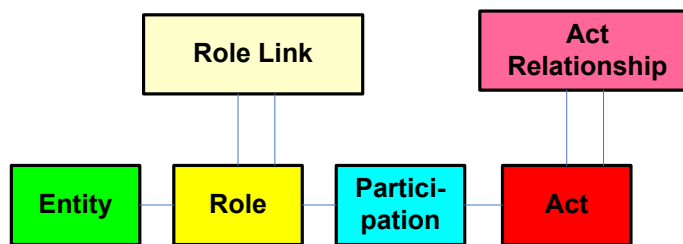


Abbildung 17: Die sechs Basisklassen des HL7 RIM.

Definitivisch werden die oben dargestellten sechs Klassen wie folgt beschrieben:

- Entity: Eine Entity ist ein lebendes oder nichtlebendes Objekt, wie z. B. eine Person, eine Organisation oder auch eine Gruppe von Objekten. Eine Entity ist befähigt, an einem Act zu partizipieren.
- Role: Eine Role ist die Konkretisierung der Fähigkeiten bzw. Ausprägungen einer Entity. So kann eine Person die Rolle eines Patienten oder eines Arztes einnehmen. Ein Ort wiederum kann den Geburtsort, eine Klinik oder das Zuhause repräsentieren.
- Act: Analog zur Definition eines Ereignisses ist ein Act definiert als alles, was passieren kann oder passiert ist. Es kann sich somit z. B. um eine Bestellung, eine Beobachtung oder ähnliches handeln. Der vollständige Scope eines Acts umfasst den Akteur, welcher die Aktivität durchführt, den Gegenstand bzw. die Person, welche durch die Aktivität beeinflusst wird. Zudem können zusätzliche Informationen, wie z. B. Ort, Zeit, Grund etc. angegeben werden.
- Participation: Eine Participation ist eine Beziehung zwischen einem Act und einer Role, wobei letztere an eine Entity gebunden ist. Eine Role kann an mehreren Acts beteiligt sein und an einem Act können mehrere Roles partizipieren.
- Role Link: Ein Role Link ist eine Beziehung zwischen zwei Roles. Hierüber können mehrere Rollen, z. B. Familienmitglieder oder Mitglieder eines medizinischen Teams, miteinander verknüpft werden.
- Act Relationship: Dieser Beziehungstyp ermöglicht die Definition einer Assoziation zwischen zwei Acts.

Neben den sechs Basisklassen gibt es auch Klassen, die keine Spezialisierung der sechs Basisklassen sind – genannt Non-Core-Klassen. Diese sollten wenn möglich vermieden werden, da sie dem Prinzip der Standardisierung widersprechen.

Die Modellierung eines D-MIM oder R-MIM innerhalb von HL7 erfolgt unter Nutzung einer speziellen grafischen Notation, wie in Abbildung 18 gezeigt. Hierbei ist den oben genannten sechs Basisklassen jeweils ein eigenes Symbol zugeordnet. Beziehungen, z. B. zwischen

zwei Acts über eine Act Relationship, besitzen jeweils ein Start- und ein Zielelement. Die jeweilige Pfeilrichtung gibt jedoch nicht zwingend die Leserichtung für das Diagramm wieder. Die eigentliche Navigation durch das Modell erfolgt anhand der Positionen der Kardinalitäten der Beziehungen. Die Attributierung der obigen Elemente erfolgt durch Verfeinerung der Attribute des RIM, respektive können keine neuen Attributnamen eingeführt werden. Ein Attribut kann als zwingend erforderlich (mandatory) oder als erforderlich (required) markiert werden. Durch Angabe einer Kardinalität kann die Häufigkeit des Auftretens eingeschränkt werden. Der Datentyp eines Attributes wird durch Nutzung des durch das RIM vorgegebenen Vokabulars verfeinert.

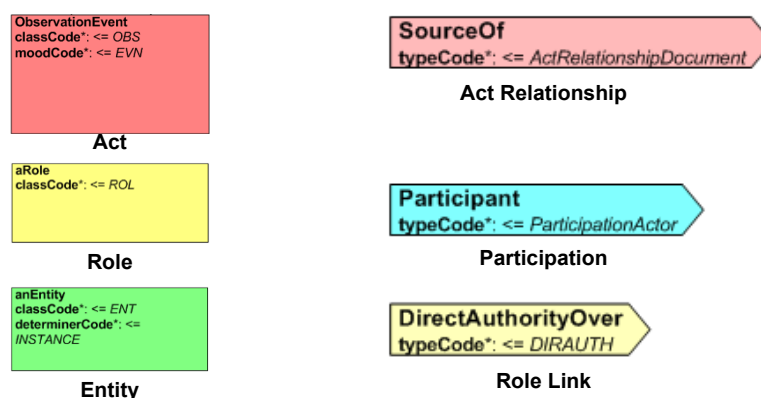


Abbildung 18: Übersicht der Symbole der HL7-Modellierungssprache.

5.3.3.2 Grundlagen zu den IEEE 11073 Standards

Zur Beschreibung sensorbasierter Daten existiert eine Vielzahl von proprietären sowie offenen Standards [VS11, YD11, IHE11]. Aufgrund der inhärenten Heterogenität werden Szenarien bestehend aus einer Vielzahl von Sensortypen verschiedener Hersteller erschwert. Gerade im Bereich der Personal Health Devices, also Geräten, welche den Gesundheitszustand eines Patienten überwachen, werden Synergien verhindert. Aus diesem Grund wurde mit der Continua Health Alliance (CHA) eine Non Profit-Dachorganisation zur Etablierung von interoperablen Gesundheitsüberwachungssystemen etabliert. Getrieben werden die Bemühungen der CHA entlang von drei Anwendungsbereichen:

- Independent Living: Ermöglichung eines sicheren und unabhängigen Lebens älterer Personen.
- Disease Management: Unterstützung eines effizienteren Managements von chronisch Erkrankten.
- Health and Fitness: Steigerung der Gesundheit durch kontinuierliche Überwachung von Vital- und Fitnessparametern.

Die Basis zur Realisierung von Lösungen für die o.g. Anwendungsbereiche bilden die IEEE 11073-XX Standards. Zielsetzung dieser ist die Erreichung eines Echtzeit-Plug&Play durch Schaffung höchstmöglicher Interoperabilität zwischen patientenzentrierten medizinischen Geräten, wodurch u.a. die Effizienz der Übertragung von Vitalwerten und anderen medizinischen sensorbasierten Daten erhöht werden soll. Hierbei bedeutet Echtzeit, dass Daten verschiedener Endgeräte empfangen, zeitlich korreliert, angezeigt oder aber innerhalb kürzester Zeit verarbeitet werden können. Plug&Play meint, dass neue Sensoren problemlos in eine bestehende Infrastruktur eingebracht werden können, wobei eine automatische Konfiguration der Sensoren stattfindet [IEE04]. Zu den bisher normativen Gerätespezifikationen gehören: IEEE 11073-10404 - Pulse Oximeter, IEEE 11073-10407 - Blood Pressure Monitor, IEEE 11073-10408 – Thermometer, IEEE 11073-10415 - Weighing Scale, IEEE 11073-10417 - Glucose Meter, IEEE 11073-10420 - Body composition analyzer, IEEE 11073-10421 - Peak flow, IEEE 11073-10441 - Cardiovascular fitness and activity monitor, IEEE 11073-10442 - Strength fitness equipment, IEEE 11073-10471 - Independent living activity hub, IEEE 11073-10472 - Medication monitor

Alle IEEE 11073-XX Standards basieren auf einem gemeinsamen Domain Information Modell, kurz DIM, wie in Abbildung 19 abgebildet.

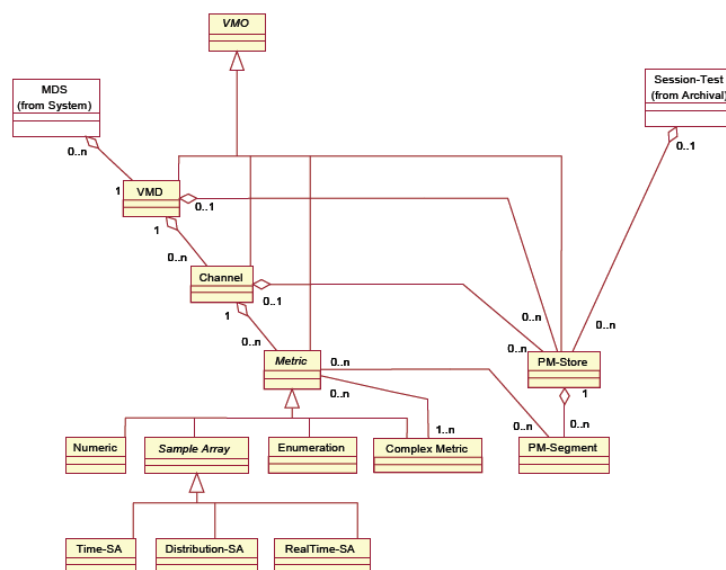


Abbildung 19: IEEE 11073 Domain Information Modell (vergrößert siehe auch Anhang A3).

Um nunmehr Mehrwerte für Anwendungen im Gesundheitswesen zu schaffen, müssen die auf Basis des IEEE 11073 DIM beschriebenen Daten in ein für Anwendungen (OSI Level 7) verständliches Format überführt werden. Wie in Kapitel 5.3.3.1 beschrieben dominiert im Gesundheitswesen der Austausch auf Applikationsebene auf Basis von HL7, weshalb es auch

durch die CHA-Bemühungen gibt, eine Brücke zwischen dem IEEE 11073 DIM und HL7 zu schlagen. Der aktuelle Stand ermöglicht die Überführung der Daten in einen HL7 Personal Health Monitoring Report (PHMR). Gleichwohl gibt es auch durch die IHE innerhalb des Device Enterprise Communication Profile Abbildungsvorschläge, jedoch auf HL7 Version 2.5.

Einen der relevantesten Ansätze liefert Yuksel [YD11] in seiner Arbeit zur Abbildung des IEEE 11073 DIM in ein HL7 RMIM, wie in Abbildung 20 gezeigt. Mithilfe des obigen Ergebnisses ermöglicht Yuksel eine Integration sensorbasierter Daten in jede Form von HL7 Nachrichten und Dokumenten. Gezeigt wird dieses, indem ein HL7 11073 RMIM Datum transformiert wird in ein HL7 Personal Health Monitoring Report.

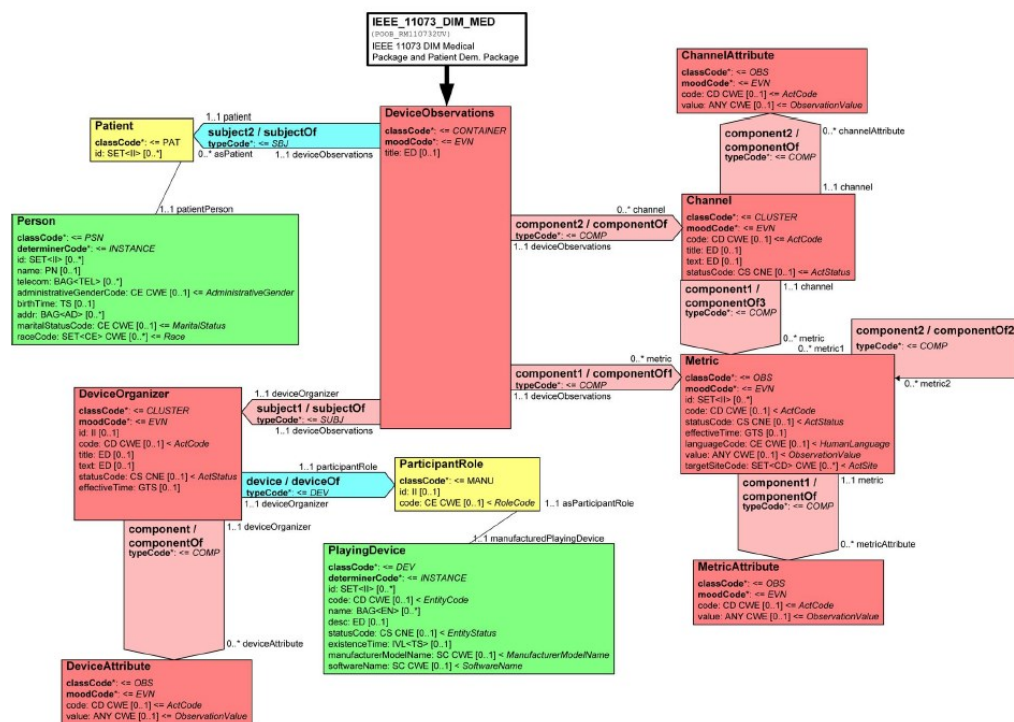


Abbildung 20: HL7 RMIM des IEEE 11073 DIM [YD11] (vergrößert siehe auch Anhang A2).

5.3.3.3 Modellierung des HL7 Telemedical Event Formats

Zielsetzung der nachfolgenden Modellierung ist die Spezifikation eines HL7-basierten Nachrichtenformats zum Transport von Ereignissen auf Basis der in Kapitel 5.3.2 spezifizierten telemedizinischen Ereignistypen. Das Ergebnis wird nachfolgend als HL7 Telemedical Event Format bezeichnet und ist wie folgt definiert:

Definition 26 – HL7 Telemedical Event Format: Das HL7 Telemedical Event ist eine Abbildung des telemedizinischen Ereignistypen in das HL7 V3 Format durch Modellierung und Verfeinerung eines HL7 R-MIM.

Das in dieser Ausarbeitung genutzte Vorgehen zur Ableitung des HL7 Telemedical Event Formats unter Nutzung von HL7 RIM, ist in Abbildung 21 skizziert.

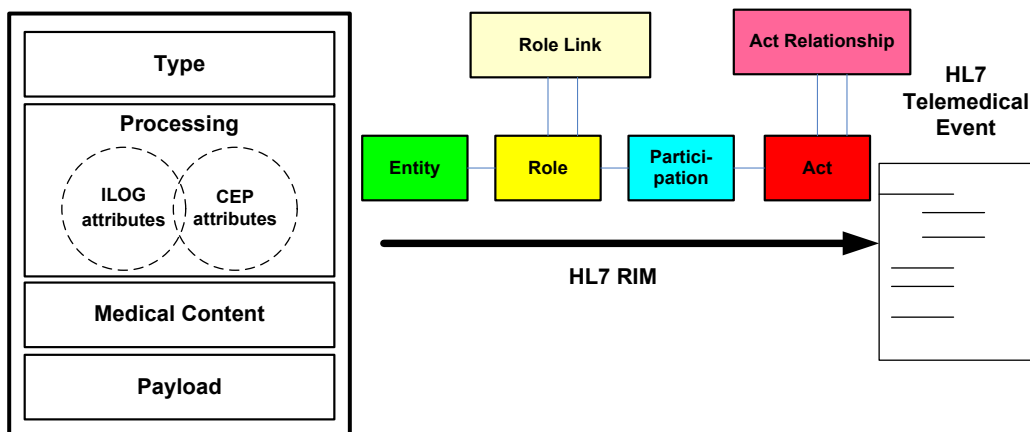


Abbildung 21: Vorgehensweise zur Ableitung des HL7 Telemedical Event Formats aus dem Segment-Modell unter Nutzung des HL7 RIM.

Ausgangspunkt der Modellierung des HL7 Telemedical Event Formats sind das in Kapitel 5.3.2 beschriebene Vier-Segment-Modell eines telemedizinischen Ereignistypen und die an diesem gebundenen Attribute. In einem zweistufigen Verfahren wird aus dem Modell das XML-basierte HL7 Telemedical Event Format wie folgt abgeleitet:

- Schritt 1 - Modellierung des HL7 R-MIM: Unter Nutzung der sechs Basisklassen des HL7 RIM gilt es, ein Modell zu entwickeln, welches die notwendigen Segmente und Attribute eines telemedizinischen Ereignisses beschreibt. Auf Basis des HL7 RIM wird hierzu ein HL7 R-MIM modelliert.
- Schritt 2 – Anwendung der ITS: Durch Anwendung der HL7 Implementable Technology Specification (ITS) wird das modellierte HL7 R-MIM in ein XSD-Schema überführt. Die ITS definiert, wie die Elemente des HL7 RIM in ein XML-basiertes Nachrichtenformat transformiert werden können, respektive werden hiermit die ISO-Level 5 und 6 bedient.

Das Ergebnis der obigen Vorgehensweise aus Schritt 1, die Modellierung des HL7 Telemedical Event Formats als R-MIM, ist in Abbildung 22 unter Nutzung der Release 2 Datentypen dargestellt.

Hierbei wurden die Segmente und Attribute des telemedizinischen Ereignistypen wie in der nachfolgend angegebenen Tabelle 17 unter Nutzung des HL7 RIM in ein HL7 R-MIM transformiert.

Tabelle 17: Abbildung der Attribute des telemedizinischen Ereignistypen auf HL7 mithilfe des HL7 RIM.

Segment	Attribut	HL7 Element	HL7 Attribut
Type	eventTypeID	Act.TelemedicalEvent	code
Type	timeEmitter		
Processing	simpleEvent	Das telemedizinische Ereignis ist per definitionem immer ein einfaches Ereignis.	
Processing	eventID	Act.TelemedicalEvent	id
Processing	patientID	Role.Patient	id
Processing	detectionTime	Act.TelemedicalEvent	availabilityTime
Processing	createTime	Act.TelemedicalEvent	effectiveTime
Processing	processTime	Act.TelemedicalEvent	activityTime
Processing	eventSource	Participation.author	-
Processing	receivingResponsibility	Participation.Information Recipient	-
Processing	location	Participation.location	-
Medical C.	medicalContextType	Act.Observation	code
Medical C.	medicalContext	Act.Observation	value
Medical C.	telemedicalValueType	Act.Metric	code
Medical C.	telemedicalValue	Act.Metric	value
Payload	payloadAttributeType	Act.Payload	code
Payload	payloadAttributeValue	Act.Payload	value

Der Einstiegspunkt für das R-MIM aus Abbildung 22 ist ein externer Trigger vom Typ *Telemedical Event Trigger*, welcher die Dokumentation des telemedizinischen Ereignisses auslöst. Hierbei handelt es sich im Sinne der Telemedizin um die Messung eines Vitalwertes und somit eine Zustandsänderung in der realen Welt. Erzeugt wird diese Zustandsänderung durch das eingesetzte telemedizinische Gerät.

Das Trigger-Event referenziert den HL7 Act *TelemedicalEvent*, also die Aktivität der Dokumentation des telemedizinischen Ereignisses. Hierbei handelt es sich um eine aktive Tätigkeit (*moodCode*:<=EVN*) resultierend aus der Beobachtung (*classCode*:<=OBS*) der telemedizinischen Messung. Der eindeutige Identifikator des Ereignisses wird über das Attribut *id: DSET<II>[0..*]* angeben, dementsprechend handelt es sich um eine Menge von *InstanceIdentifiern*, z. B. OIDs. Die Typisierung erfolgt über das *code: CD CWE [0..1]* Attribut, also eine Codierung mithilfe eines externen Vokabulars. Ein Vokabular in HL7 ist ein Katalog bzw. eine Taxonomie, wie z. B. SNOMED oder ICD. Der Titel (*title: ED [0..1]*) ermöglicht die Angabe einer textuellen Beschreibung wie die Angabe des Typ-Namens (z. B. telemedizinisches Blutdruck-Ereignis). Nachfolgend müssen die drei Zeittypen des Processing-Segments angegeben werden: Über das Attribut *effectiveTime* wird der Zeitpunkt der

Erzeugung des Ereignisses angeben. Der Zeitpunkt der Erkennung durch die ereignisverarbeitende Infrastruktur wird in das Attribut *availabilityTime* eingetragen. Zuletzt wird die Verarbeitung des telemedizinischen Ereignisses in *activityTime* vermerkt.

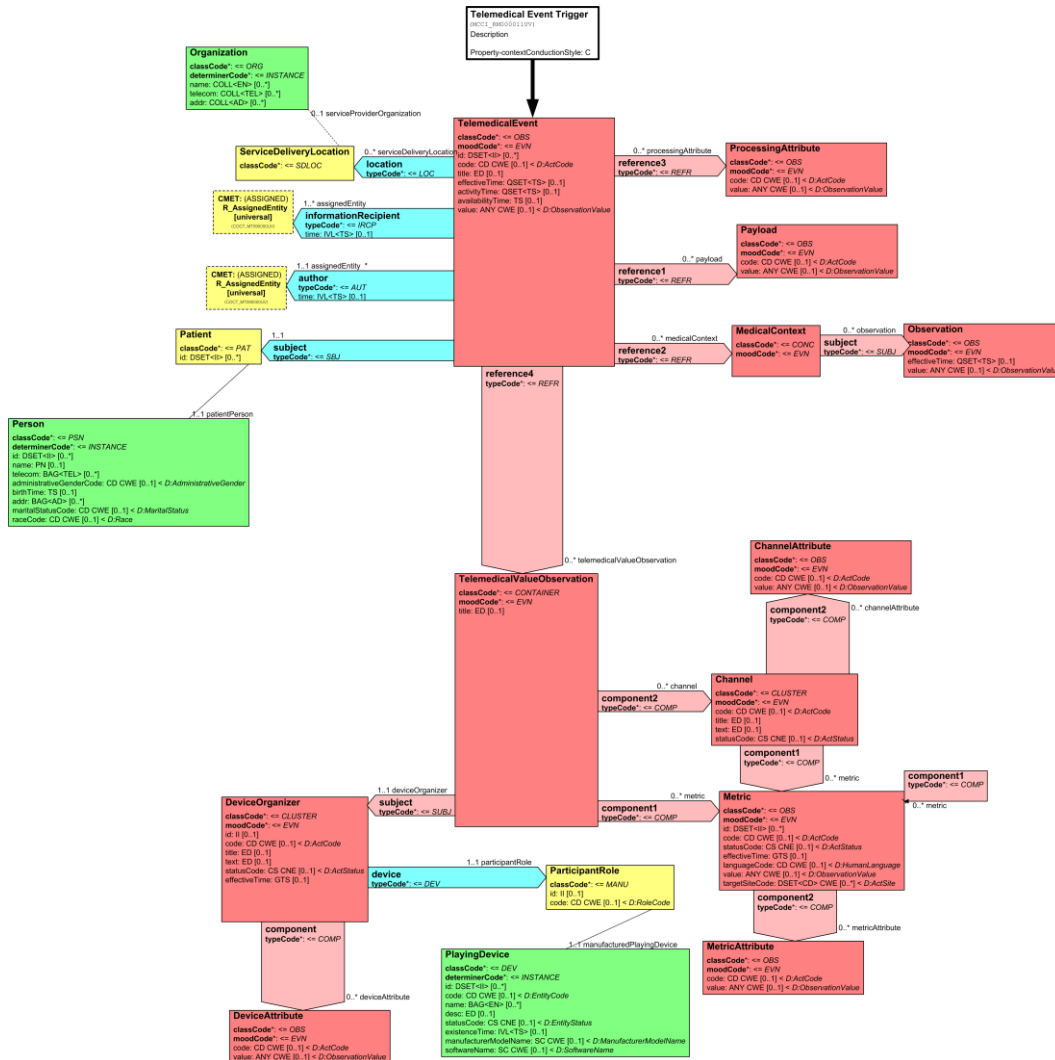


Abbildung 22: Unter Anwendung des HL7 RIM modelliertes HL7 R-MIM eines telemedizinischen Ereignisses (siehe auch vergrößert in Anhang A15).

An der Aktivität des *TelemedicalEvent* partizipieren verschiedenen Entitäten bzw. Rollen. Im Mittelpunkt der Dokumentation steht der Patient selber, welcher über die HL Participation (*subject typeCode*:<=SBJ*) an das *TelemedicalEvent* gebunden ist. Diese wiederum verweist über die Rolle *Patient* auf die HL7 Entity *Person* und erlaubt die vollständige Dokumentation der personenbezogenen Daten. Um eine infrastrukturübergreifende Verarbeitung zu gewährleisten, sollte das Objekt jedoch nicht als Träger der personenbezogenen Informationen genutzt werden. Als eindeutiger infrastrukturübergreifender Identifier im Sinne eines Master Patient Index (MPI), ist das Attribut *id: DSET <II>* der HL7 Entity *Person* zu nutzen.

Wesentlich beteiligt an der Dokumentation ist der Autor. Hierbei handelt es sich nicht zwingend um ein lebendes Objekt in Ausprägung einer Person, sondern im telemedizinischen Kontext insbesondere auch um nichtlebende Objekte in Form von telemedizinischen Sensoren. Aus diesem Grund verweist die HL7 *Participation* (*author typeCode*:<=AUT*) auf den Common Message Element Type (CMET) *R_AssignedEntity*, also auf eine beliebige Entität.

Eine weitere am *TelemedicalEvent* partizipierende Entität ist der Ort der Erfassung. Über die HL7 *Participation location typeCode*:<=LOC* wird auf die Rolle *ServiceDeliveryLocation* verwiesen, also den Ort der Erbringung der Aktivität des Dokumentierens. Die Rolle kann von zwei voneinander verschiedenen Entitäten eingenommen werden: Zum einen ist dies die HL7 *Entity Place* und zum anderen der HL7 *Entity Organization*. Hiermit kann zum einen zum Ausdruck gebracht werden, dass die telemedizinische Messung z. B. in einem Krankenhaus stattgefunden hat und zum anderen, dass die Erfassung z. B. im Rahmen einer sportlichen Aktivität erfolgt ist.

Weiterhin können an der Aktivität *TelemedicalEvent* mögliche Empfänger beteiligt werden. Der Begriff Empfänger meint in diesem Kontext nicht den „technischen Empfänger“, also die ereignisverarbeitende Infrastruktur, sondern den Empfänger der Information. Im Sinne der Informationslogistik gilt es, diesen möglichst intelligent zu bestimmen. Hierbei muss es sich nicht zwingend um eine Person handeln, sondern es kann jegliche, die Information betreffende technische Infrastruktur umfassen (*CMET R_AssignedEntity*). Durch die Angabe kann u.a. die Sichtbarkeit einer Information eingeschränkt werden, oder aber im Sinne einer Eskalation eine Priorisierung von Empfängern erfolgen.

Neben den partizipierenden Elementen verweist die Aktivität *TelemedicalEvent* auf weitere Aktivitäten. Im Vordergrund steht hier der HL7 Act *TelemedicalValueObservation*, welcher die Dokumentation eines der IEEE 11073 Spezifikation entsprechenden Vitalwertes initiiert. Wie in Kapitel 5.3.3.2 beschrieben, wurde hierzu durch Yuksel [YD11] eine Abbildung zwischen dem IEEE 11073 DIM auf das HL7 RIM erarbeitet. Entsprechend werden weitere Act-Klassen referenziert, um die Art des Messwertes, die Art der Messung sowie das Messgerät genauer beschreiben zu können. Die Repräsentation des eigentlichen Messwertes erfolgt im Act *Metric*. Über *code: CD CWE [0..1]* wird auf ein Vokabular verwiesen, welches die Semantik des abgelegten Vitalwertes beschreibt. Der Vitalwert selber wird in *value: ANY CWE [0..1]* abgelegt. In Abweichung zu Yuksels Modell ist der Patient nicht mehr an die *TelemedicalValueObservation* gebunden, sondern an das *TelemedicalEvent* selbst.

Außer der *TelemedicalValueObservation* werden noch weitere Act-Klassen an das *TelemedicalEvent* gebunden. Die Referenzierung des HL7 Act *ProcessingAttribute* ermöglicht die Erweiterung des *TelemedicalEvent* um weitere CEP- bzw. ILOG-relevante Attribute. Auch Sicht von HL7 handelt es sich hierbei um eine Beobachtung (*classCode*:<=OBS*) weiterer

Attribute. Zur Codierung der Werte wird das Key-Value-Paar Pattern angewendet: Über *code: CD CWE [0..1]* wird auf ein Vokabular verwiesen, welches die Semantik des abgelegten Attributes beschreibt. Der Wert des Attributs wird in *value: ANY CWE [0..1]* abgelegt.

Weiterhin referenziert wird die Aktivität zur Angabe von Payload-Attributen im HL7 Act *Payload*. Wie schon bei *ProcessingAttribute* handelt es sich um eine Beobachtung (*classCode*:<=OBS*), welche über das Key-Value-Paar Pattern die beobachteten Werte erfasst. Über *code: CD CWE [0..1]* wird auf ein Vokabular verwiesen welches die Semantik des abgelegten Attributes beschreibt. Der Wert des Attributs wird in *value: ANY CWE [0..1]* abgelegt.

Der medizinische Kontext einer Messung kann zur informationslogistischen Bewertung oder auch zur fachlichen Einordnung der Situation durch den Empfänger hilfreich sein. Aus diesem Grund wird über die Aktivität *MedicalContext* die Möglichkeit geschaffen, zusätzliche medizinische Informationen an das Ereignis zu binden. Hierzu wird eine Menge von Beobachtungen (*Observation*) erfasst. Über das Attribut *effectiveTime: QSET<TS>[0..1]* wird der Zeitpunkt der Beobachtung dokumentiert und im Attribut *value: ANY CWE [0..1]* wird der Wert der Beobachtung abgelegt. Hierbei kann es sich auch um einen Verweis auf ein externes Dokument handeln.

In der nachfolgenden Tabelle 18 sind die relevanten Elemente des HL7 R-MIM für das Telemedical Event Format noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 18: Übersicht über die im R-MIM eingesetzten Elemente

RIM Typ	Name	Beschreibung
Act	TelemedicalEvent	Umfasst die Aktivität des Dokumentierens des gemessenen Vitalwertes.
Act	Processing Attribute	Aktivität zur Dokumentation weiterer Processing-Attribute in Form von Key-Value-Paaren.
Act	Payload	Aktivität zur Dokumentation notwendiger Payload-Attribute in Form von Key-Value-Paaren.
Act	MedicalContext	Aktivität zur Dokumentation des medizinischen Kontextes eines Patienten auf Basis getätigter Beobachtungen.
Act	Observation	Generell handelt es sich hierbei um eine beliebige Beobachtung, in diesem Fall die Erfassung einer medizinisch relevanten Situation.
Act	TelemedicalValue Observation	Aktivität zur Dokumentation der Beobachtung eines IEEE 11073 Messwertes.
Act	DeviceOrganizer	Aktivität zur Beschreibung des medizinischen Teils des eingesetzten

Kapitel 5: Erweiterung einer ILOG-Engine zur modularen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des CEPs

		Messgerätes.
Act	DeviceAttribute	Aktivität zur Dokumentation gerätebezogener Attribute.
Act	Channel	Aktivität der logischen Gruppierung einzelner Messwerte.
Act	ChannelAttribute	Aktivität zur Dokumentation gruppierungsbezogener Attribute.
Act	Metric	Aktivität zur Dokumentation des eigentlichen Messwertes.
Act	MetricAttribute	Aktivität zur Dokumentation messungsbezogener Attribute.
Entity	Organization	Eine Entität ausgeprägt als Organisation.
Entity	Place	Eine Entität ausgeprägt als Ort.
Entity	Person	Eine Entität im Sinne einer Person.
Role	ServiceDeliveryLocation	Ein Ort oder eine Organisation in der Rolle des Ortes der Leistungserbringung.
Role	Patient	Eine Person nimmt im Rahmen der Messung die Rolle des Patienten an.
Participation	location	Beteiligung eines Ortes, an welchem die Messung stattgefunden hat.
Participation	informationRecipient	Beteiligung einer Menge an Empfängern, für welche das telemedizinische Ereignis Relevanz haben kann.
Participation	author	Beteiligung eines Autors am Prozess zur Dokumentation eines telemedizinischen Ereignisses. Hierbei kann es sich um eine Person, aber auch um ein Gerät handeln.
Participation	subject	Beteiligung eines Patienten als Mittelpunkt der Messung des zu dokumentierenden Vitalwertes.
Act-Rel.	Reference1	Verweis auf die Beteiligung zur Dokumentation von Payload Attributen.
Act-Rel.	Reference2	Verweis auf die Beteiligung zur Dokumentation medizinischer Informationen.
Act-Rel.	Reference3	Verweis auf die Beteiligung zur Dokumentation weiterer Processing-Attribute.
Act-Rel.	Reference4	Verweis auf die Beteiligung zur Dokumentation eines IEEE 11073-konformen Messwertes.
Act-Rel.	componenten1..n	Inkludierung einer anderen Act-Klasse.
CMET	R_AssignedEntity	Eine beliebige Entität in der Rolle eines lebenden oder nichtlebenden Objektes.
Entry	Telemedical Event Trigger	Der externe Trigger, respektive die Messung eines Vitalwertes, welche die Durchführung der Dokumentation anstößt.

Abschließend erfolgt die Anwendung der HL7 Implementable Technology Specification auf das HL7 R-MIM. HL7 ITS beschreibt die Transformation der individuellen Instanzen eines HL7 R-MIM in ein XML-Dokument.

5.4 Telemedizinischer ILOG Listener (TIL)

Telemedizinische Szenarien sind hoch dynamische Szenarien, in welchen technische Innovationen den Einsatz neuer Sensoren ermöglichen und die medizinische Situation einer ständigen Evolution unterliegt. Automatismen zur intelligenten Verarbeitung telemedizinischer Informationen müssen sich leicht an veränderte Bedingungen anpassen lassen. Die Welt des Complex Event Processings ermöglicht die Strukturierung und Modularisierung der Verarbeitung durch die Konzepte der Event Processing Networks und der Event Processing Agents. Auf Basis der EPN wird in Kapitel 5.5 das Konzept der telemedizinischen ILOG Listener Profile erarbeitet. Hiermit wird der Aufbau patientenspezifischer Arbeitsbereiche zur Verarbeitung von in Form von telemedizinischen Ereignissen eintreffenden telemedizinischen Informationen ermöglicht.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Aufbaus eines Arbeitsbereichs auf Basis eines TIL-Profils sind die telemedizinischen ILOG Listener. Zielsetzung dieser soll es sein, Verarbeitungslogik in einer vitalwertabhängigen, jedoch patientenunabhängigen Art und Weise zu kapseln. Mit dem Konzept der TILs wird direkt Bezug genommen zu den **Fragestellungen 3 und 5**. Weiterführend wird hierbei auch auf Aspekte der **Fragestellungen 2 und 4** eingegangen. Bei der Konzeption der TILs werden zudem die Anforderungen **A3, A5, A6 und A8** berücksichtigt. Im Folgenden wird der Begriff des TILs fachlich wie formal definiert, die Ein- und Ausgaben spezifiziert und die möglichen Operationen auf telemedizinischen Ereignissen benannt.

5.4.1 Definition eines telemedizinischen ILOG Listeners

Die Notwendigkeit zur Konzeption der telemedizinischen ILOG Listener lässt sich aus einer technisch-fachlichen und einer medizinisch-fachlichen Sicht begründen:

- Aus medizinisch-fachlicher Sicht ist der Gesundheitszustand eines Patienten zu einem gegebenen Zeitpunkt eine Momentaufnahme im Verlauf seines Lebens. Einzelne Krankheitsbilder werden lediglich für eine kurze Episode vorhanden sein. Andere wiederum werden den Patienten ein Leben lang begleiten (Chronifizierung). Hierbei kann es zu einer Überlagerung verschiedener Krankheitsbilder (Multimorbidität) oder aber zu einer durch die Grunderkrankung begründeten Anzahl von Begleiterkrankungen (Komorbidität) kommen. Dadurch bedingt ist die Menge der zu erfassenden Vitalwerttypen und somit der zu verarbeitenden Ereignisse nie fest. Das medizinische Profil in Form eines

TIL-Profils muss somit in einer einfachen Art und Weise an veränderte medizinische Situationen angepasst werden können.

- Aus einer technisch-fachlichen Sicht lässt sich eine Technifizierung des Gesundheitswesens erkennen - eine Technifizierung, die sich in der Telemedizin durch stetig wachsende Möglichkeiten zur Erfassung von Vitalwerttypen ausdrückt [Häc10]. Zur Gewährleistung einer optimalen medizinischen Versorgung gilt es, solche neuen Methoden schnell in den Regeleinsatz zu bringen. Neue Messmethoden müssen somit in einer einfachen Art und Weise einem TIL-Profil hinzugefügt werden können.

Im Sinne des CEPs ermöglichen die sog. Event Processing Agents gemäß **Definition 17** als wesentliche Bestandteile eines Event Processing Networks eine Strukturierung der Verarbeitung durch:

- Modularisierung: Regeln zur Ereignisverarbeitung werden durch einen EPA zu einem logischen Modul zusammengefasst, um z. B. einen definierten Problembereich zu lösen. Hierdurch wird die Übersichtlichkeit der Verarbeitungsregeln verbessert und Fehler werden vermieden.
- Wiederverwendbarkeit: Einmal definierte EPAs können ähnlich einer Klasse in der objektorientierten Programmierung, sofern entsprechend ausgearbeitet, in verschiedenen Szenarien wieder eingesetzt werden.

Formal ist ein telemedizinischer ILOG Listener definiert als ein n -Tupel $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$ mit den folgenden Parametern:

- $TIL := \bigcup_{n=1}^{\infty} til_n$ ist die Menge aller telemedizinischen ILOG Listener.
- et_{in} : Ereignistyp, auf dessen Basis die Eingangsereignisse instanziiert werden $instance_{ET}(et_{in}, data) = e_{in}$. Initial handelt es sich hierbei lediglich um den in Kapitel 5.3.2 definierten telemedizinischen Ereignistypen.
- ET_{out} : Analog zur Definition von et_{in} ist ET_{out} eine Menge von Ereignistypen $|ET_{out}| \geq 1$ und zwar solcher, die als Ausgabe des jeweiligen TILs erlaubt sind.
- f_{in} : Ein TIL ist immer spezialisiert auf die Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse eines spezifischen Vitalwerttyps. Somit müssen die eintreffenden telemedizinischen Ereignisse hinsichtlich des transportierten Vitalwerttyps gefiltert werden. Der hierzu eingesetzte Filter ist eine zustandslose boolesche Funktion der Form $f_{in} \rightarrow E^T : (true, false)$. Für zwei Eingangsfiler f_{in_1} und f_{in_2} gilt, dass $f_{in_1} \equiv f_{in_2}$ nur dann identisch sind, wenn $patient(f_{in_1}) = patient(f_{in_2})$ die Funktion für den gleichen Patienten filtert. Zwei paarweise verschiedene Funktionen $f_{in_1} \cap f_{in_2} = \emptyset$ sind immer überschneidungsfrei.

- VL: Jeder TIL besitzt zur Verarbeitung der Ergebnisse einen Block mit Verarbeitungslogik VL . Hierbei handelt es sich um Regeln wie nachfolgend beschrieben handeln:

$$VL := \left\{ R \mid R = \left\{ \begin{array}{ll} f: E^T \rightarrow (true, false), & Filter \\ p: E \rightarrow E, & Pattern \\ t: E \rightarrow E, & Transformation \end{array} \right. \right\}$$

Die Verarbeitungslogik kann aber auch durch einen Algorithmus der Form $alg_{TIL}: \{e^T \mid e^T \in E^T\} \rightarrow E$ repräsentiert sein. Hierbei wird mithilfe eines Algorithmus eine Menge von telemedizinischen Eingangsereignissen auf ein Ausgabeereignis abgebildet.

Zwei TILs sind identisch $TIL_1 \equiv TIL_2$, wenn $et_{in_1} \equiv et_{in_2}$, $ET_{out_1} \equiv ET_{out_2}$, $f_{in_1} \equiv f_{in_2}$ und $VL_1 \equiv VL_2$.

Aus der oben dargestellten fachlichen Sicht sowie der formalen Definition lässt sich ein telemedizinischer ILOG Listener wie folgt definieren:

Definition 27 – Telemedizinischer ILOG Listener (TIL): Ein TIL ist ein n-Tupel der Form $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$ und ermöglicht die Zusammenfassung von Verarbeitungsregeln für einen einzelnen Vitalwerttypen.

5.4.2 Konzeptioneller Aufbau eines TILs

Ein TIL (bzw. eine Menge von TILs) ist ein notwendiger Basisbaustein zur Ausgestaltung eines TIL-Profiles, denn die durch das Profil patientenspezifisch gefilterten telemedizinischen Ereignisse müssen an diese weitergeleitet werden können. Dies setzt jedoch auch voraus, dass für jeden eintreffenden Vitalparameter ein entsprechender TIL innerhalb des Profils registriert wurde. Am Beispiel des in Kapitel 2.4.2 vorgestellten Use Cases FitPit gilt es u.a. das Gewicht und den Blutdruck zu messen. Dementsprechend müssen im TIL-Profil zwei TILs registriert werden, die sich der Verarbeitung der eintreffenden telemedizinischen Ereignisse wie folgt annehmen:

- Schritt 1 - Filterung: Initial muss ein TIL anhand des Vitalparameters entscheiden, ob er für die Verarbeitung eines eintreffenden telemedizinischen Ereignisses zuständig ist.
- Schritt 2 - Verarbeitung: Sofern das telemedizinische Ereignis den Filter passieren durfte, wird der Verarbeitungsprozess angestoßen. Die Verarbeitung kann sich auf ein einzelnes Ereignis oder auch auf eine Serie dieser beziehen. Hierzu werden Ereignisse in einem temporären Speicher vorgehalten. Ein Ereignis wird wieder freigegeben, sobald es keine Verarbeitungsregel mehr gibt, welche dieses ggf. für die Verarbeitung benötigt.

- Schritt 3 - Generierung: Auf Basis der Verarbeitung muss eine Entscheidung getroffen werden, inwiefern eine nachgelagerte Aktion durch Emittierung eines neuen Ereignisses ausgelöst werden muss. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn durch die Verarbeitung eine kritische Situation erkannt wurde.

In der nachfolgenden Abbildung 23 wird, basierend auf **Definition 17**, der konzeptionelle Aufbau eines telemedizinischen ILOG Listeners beschrieben.

Ein eintreffendes telemedizinisches Ereignis e_i^T muss gemäß **Definition 27** zu Beginn einen Eingangsfilter der Form $f_{in}: E^T \rightarrow (true, false)$ passieren. Im Falle des Use Cases FitPit können dies u.a. das Gewicht- oder der Blutdruck sein. Ein TIL besitzt immer genau einen Eingangsfilter, der genau einen Vitalwerttypen passieren lässt. Sofern $f_{in}(e_i^T) = true$, wird das jeweilige gefilterte telemedizinische Ereignis e_i^T in den TIL und an die dortige Verarbeitungslogik weitergeleitet.

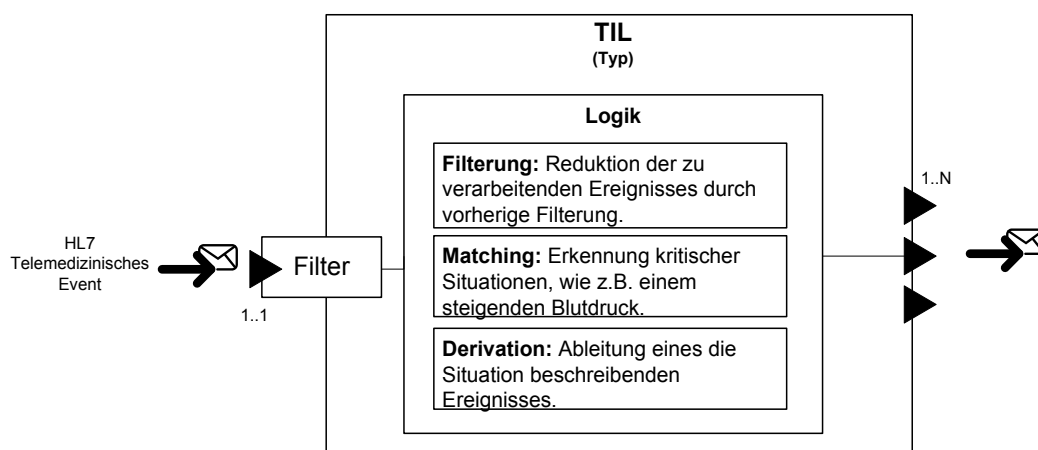


Abbildung 23: Konzeptionelle Darstellung eines telemedizinischen ILOG Listeners.

Nachgelagert erfolgt nun die Verarbeitung durch die im TIL registrierte Verarbeitungslogik VL . Die Verarbeitung in ereignisbasierten Systemen kann nach Etzion [EN10] in die drei Klassen Filterung, Patternerkennung und Transformation unterteilt werden. In der Verarbeitungslogik sind hierzu Regeln der folgenden Form abgelegt:

- Filterung: Filter sind ein notwendiges Instrument zur Minimierung der Menge an Ereignissen und wirken sich somit direkt auf die Performance des Systems aus, da unnötige nachgelagerte Verarbeitungsprozesse nicht angestoßen werden. Nach dem Passieren des Eingangsfilters f_{in} sollten, wenn möglich, irrelevante Ereignisse gefiltert werden. Im

hier betrachteten Use Case können dies, z. B. Normwerte oder Fehlmessungen sein, abhängig von den nachgelagerten Verarbeitungsregeln.

- Erkennung (Pattern): Am Beispiel des Use Cases FitPit gilt es, z. B. aus einer Serie von telemedizinischen Ereignissen des Typs Gewicht einen sukzessiven Anstieg zu erkennen. Um eben einen solchen Trend erkennen zu können, wird eine Menge von Ereignissen in einem temporären Speicher vorgehalten. Die Anzahl wird determiniert durch z. B. Zeitfenster. Bei der Verarbeitung werden im Rahmen dieser Arbeit keine externen Datenquellen, wie z. B. Patientenakten mit einbezogen.
- Transformation: Die Ergebnisse der Filterung und Erkennung können, abhängig von der Kritikalität bzw. Relevanz der Situation, in andere Darstellungsformen transformiert werden. Dies umfasst auch die Generierung der im nachfolgenden beschriebenen Ausgabeereignisse.

Als ein Ergebnis der Transformation erfolgt möglicherweise, abhängig vom Ergebnis des Erkennungs- und Filterprozesses, die Generierung eines Ausgabeereignis auf Basis eines Ereignistypen $et_{out} \in ET_{out}$. Innerhalb dieses Ausgabeereignisses könnte u.a. die Kritikalität der Situation beschrieben sein. Die Ausgabeereignisse sind ein notwendiges Kriterium für eine nachgelagerte Verarbeitung innerhalb des steuernden TIL-Profiles. Auf eine Form von Ausgabeereignissen, den sog. Complex Trend Pattern Events, wird in Kapitel 5.6.4.2 eingegangen.

Nachfolgend werden nun die notwendigen Operationen zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse näher beschrieben.

5.4.2.1 Filterung

Filter ermöglichen es, die Anzahl an zu verarbeitenden telemedizinischen Ereignissen zu reduzieren. Sofern ein Filter ein Ereignis ablehnt, wird dieses für den jeweiligen TIL „ausgeblendet“, steht jedoch anderen TILs weiter zur Verfügung. Ein Filter erzeugt weder neue Ereignisse, noch werden Kopien der gefilterten Ereignisse erstellt. Formal ist ein Filter $f : E \rightarrow (true, false)$ eine boolesche Funktion, die ein Eingangsereignis $e \in E$ durch Auswertung einer Filterbedingung filtert. Hierbei sind die telemedizinischen Ereignisse $E^T \subseteq E$ eine Teilmenge. Eine Filterbedingung wird, ähnlich eines Prädikats in der Prädikatenlogik, mit einer Auswahl an Attributen des telemedizinischen Ereignisses instanziiert und zu *true* oder *false* ausgewertet.

Angelehnt an Etzion [EN10] können aus der Auswertung eines telemedizinischen Ereignisses auf Basis der Filterbedingung drei Ergebnisse resultieren:

- Akzeptiert: Das Ereignis e_i erfüllt die Bedingung innerhalb des Filters $f \in F$, so dass $f(e_i) = true$.
- Abgelehnt: Das Ereignis e_i erfüllt die Bedingung innerhalb des Filters $f \in F$ nicht, so dass $f(e_i) = false$.
- Nicht filterbar: Per definitionem erfolgt der Transport eines telemedizinischen Ereignisses e_i^T im HL7-Format, so dass $HL7_{Trans}(e_i) = e_i^T$ ist. Nicht auszuschließen sind mögliche Fehler, die eine Verarbeitung durch den Filter verhindern.

Aufgrund der Definition der Filter als boolesche Funktion kann der Fehlerfall nicht abgebildet werden, so dass andere interne Mechanismen zu definieren sind.

Zu berücksichtigen ist, dass $f_1 = f_2$ nicht gleich $f_1 \equiv f_2$ impliziert, denn ein telemedizinisches Ereignis besitzt eine Menge an Attributen, auf deren Basis eine Filterung erfolgen kann. Sind $f_1 \equiv f_2$ jedoch identisch, dann ist auch das Ergebnis der Filterung $f_1 = f_2$ identisch.

Sofern $f(e_i) = false$, wird das betreffende Ereignis wie oben definiert abgelehnt. Sei $F := \bigcup_{n=1}^m f_n$ die Menge aller Filterfunktionen. Wenn für ein $f_i(e_i) = false \forall f_i \in F$, dann wird das Ereignis ungenutzt aus der ereignisverarbeitenden Infrastruktur herausgeführt. Sofern vorgesehen, können durch Implementierung eines „Langzeitgedächtnisses“ in Form eines Datenspeichers solche Ereignisse weiter vorgehalten werden.

Die Filterung in der Verarbeitungskette innerhalb von telemedizinischen ILOG Listnern und TIL-Profilen erfolgt an zwei Stellen: Zum einen werden telemedizinische Ereignisse gefiltert, bevor sie in einen TIL oder ein TIL-Profil weitergeleitet werden (Eingangsfiler). Zum anderen werden telemedizinische Ereignisse innerhalb der Verarbeitungslogik gefiltert (Verarbeitungsfiler).

Eingangsfiler

Jeder telemedizinische ILOG Listener bzw. jedes TIL-Profil besitzen genau einen Eingangsfiler $f_{in}: E^T \rightarrow (true, false)$. Auf dessen Basis selektiert der TIL lediglich solche Ereignisse, die seiner Spezialisierung hinsichtlich des Vitalwerttypen entsprechen. Das TIL-Profil selektiert die Ereignisse anhand des Patienten. Ein Eingangsfiler ist eine zustandslose Funktion, dementsprechend wird die Entscheidung lediglich auf Basis der Angaben des jeweils eintreffenden telemedizinischen Ereignisses getroffen.

Verarbeitungsfilter

Innerhalb des Verarbeitungsprozesses kann es zielführend sein, die Anzahl der eintreffenden telemedizinischen Ereignisse weiter zu minimieren. Grundsätzlich ist eine solche Filterung zu jedem Zeitpunkt möglich, jedoch besonders zielführend nur zu Beginn des Verarbeitungsprozesses. Ein Verarbeitungsfilter $f_V: E \rightarrow (true, false)$ ist Bestandteil der Verarbeitungslogik und muss im Gegensatz zum Eingangsfilter nicht zustandslos sein. Durch Nutzung der in Kapitel 5.4.3 angegebenen Operatoren können hoch komplexe Filter erstellt werden, die z. B. eine Entscheidung auf Basis einer Menge von Ereignissen treffen. Wurden beispielsweise fünf Messungen des Gewichts durchgeführt, wobei jeweils der gleiche Wert ermittelt wurde, so kann es ausreichen, vier Ereignisse aus dem Ereignisstrom hinaus zu leiten.

5.4.2.2 Erkennung von Mustern

Die Erkennung von Mustern (Pattern) ist eine notwendige Bedingung zur Bewertung der medizinischen Situation eines Patienten. Ein Event-Pattern entspricht einer Menge von telemedizinischen Ereignissen unter Berücksichtigung von kausalen Abhängigkeiten und zeitlichen Bezügen zwischen den Ereignissen sowie deren Attributen. Beispiele für telemedizinische Pattern sind:

- Erkennung einer Abweichung der aktuellen Gewichtsmessung vom Durchschnittswert innerhalb eines vorab festgelegten Zeitraums.
- Erkennung eines Blutdruckanstiegs innerhalb der letzten zehn Messungen.

Eine Event-Pattern-Regel ist eine reaktive Regel bestehend aus Pattern-Atomen und Operatoren, welche diese Atome miteinander verbinden sowie einer Aktion, die bei Erfüllung der Atome ausgelöst wird.

Tabelle 19: Elemente zur Beschreibung einer Event-Pattern-Regel, angelehnt an [Luc02, EN10].

Element	Beschreibung
Ereignistyp	Menge der Ereignistypen, die als Input und Output an der Event-Pattern-Regel partizipieren.
Ereignis	Menge der instanziierten Ereignistypen in Form von Ereignissen, die in den Pattern-Atomen referenziert werden.
Operatoren	Menge von Operatoren, die innerhalb der Pattern-Atome und zur Verknüpfung dieser genutzt werden.
Pattern-Atome	Einzelne Pattern-Atome.
Pattern	Aus den Pattern-Atomen und Operatoren zusammengesetztes Pattern.

Hierauf basierend kann eine Event-Pattern-Regel formal als ein n-Tupel der Form $p: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$ definiert werden, wobei:

- ET eine Menge von Ereignistypen ist und $ET^T \subset ET$.
- E eine Menge von Ereignissen und $E^T \subset E$.
- O eine Menge von Operatoren gemäß Kapitel 5.4.3.
- A eine Menge von Atomen, aus welchen das Pattern zusammengesetzt wird.

Definition 28 – Event-Pattern: Ein Pattern ist ein n-Tupel der Form $p: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$ und ermöglicht die Definition reaktiver Regeln zur Erkennung von Mustern in einer Serie von Ereignissen.

Die durch eine Event-Pattern-Regel ausgelöste Aktion erzeugt immer ein Ereignis, wobei es sich hierbei auch um ein neues telemedizinisches Ereignis handeln kann.

5.4.2.3 Transformation

Die Transformation ist ein Verarbeitungsschritt, in welchem ein oder mehrere telemedizinische Ereignisse verarbeitet werden und zu einer Ausgabe eines neuen Ereignisses führen. Die Verarbeitung zur Transformation kann zustandslos oder zustandsbehaftet sein. Angelehnt an Etzion kann die Transformation wie folgt klassifiziert werden [EN10]:

- Überführung: Zielsetzung dieser Klasse an Transformationsregeln ist die Transformation eines einzelnen telemedizinischen Eingangsereignisses durch Kopie, Modifikation oder Hinzufügen von Attributen in ein Ausgabeereignis.
- Aufteilung: Auch diese Klasse an Transformationsregeln verarbeitet ein einzelnes telemedizinisches Ereignis, erzeugt jedoch hierauf basierend mehr als ein Ausgabeereignis.
- Aggregation: Die Klasse der Transformationsregeln zur Aggregation wird auf eine Menge von Eingangsereignissen angewendet, dementsprechend sind solche Regeln zustandsbehaftet. Ergebnis der Transformation ist ein Ausgabeereignis, welches Attribute bzw. Werte aus den beteiligten telemedizinischen Ereignissen enthalten kann.

Die Elemente einer Transformationsregel sind in der nachfolgenden Tabelle 20 skizziert.

Tabelle 20: Elemente zur Beschreibung einer Transformationsregel.

Element	Beschreibung
Ereignistypen	Menge der Ereignistypen, die als Input und Output an der Transformationsregel partizipieren.
Ereignisse	Menge der instanziierten Ereignistypen in Form von Ereignissen, die in den Transformationsatomen referenziert werden.
Operatoren	Menge von Operatoren, die innerhalb der Transformationsatome und zur Verknüpfung dieser genutzt werden.
Transformationsatome	Einzelne Transformationsatome.
Transformation	Aus den Transformationsatomen und Operatoren zusammen-

	gesetzte Transformation.
--	--------------------------

Hierauf basierend kann eine Transformationsregel formal definiert werden als eine Abbildung der Form $t: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$, wobei:

- ET eine Menge von Ereignistypen ist und $ET^T \subset ET$.
- E eine Menge von Ereignissen ist und $E^T \subset E$.
- O eine Menge von Operatoren gemäß Kapitel 5.4.3 ist.
- A eine Menge von Atomen ist, aus welchen die Transformation zusammengesetzt wird.

Definition 29 – Transformationsregel: Eine Transformationsregel ist ein n-Tupel der Form $t: ET \times E \times O \times A \rightarrow E$ und überführt ein Ereignis unter Anwendung einer Operation in ein anderes Ereignis.

5.4.3 Operatoren auf telemedizinischen Ereignissen

Im Folgenden werden die wesentlichen Operatoren auf telemedizinischen Ereignissen, wie sie im Rahmen der Arbeit benötigt werden, vorgestellt. Hierbei handelt es sich nicht um eine vollständige Darstellung der Möglichkeiten, wie sie durch die gängigen Event Processing Languages gegeben sind, sondern um eine Teilmenge, wie sie zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse benötigt wird.

Komparatoren sind binäre Operatoren, respektive treten zwei Operanden wie folgt auf $\sigma: O \times O \rightarrow (true, false)$. Als Operanden sind Attributwerte von zwei Ereignissen oder aber eines Ereignisses und einer Konstante möglich.

Tabelle 21: Übersicht über mögliche Komparatoren.

Operator	Beschreibung
<, >	Der „größer“ bzw. „kleiner“ Operator ermöglicht die Ordnung von telemedizinischen Ereignissen anhand ihrer Attributwerte. Das Ergebnis des Operators ist TRUE wenn o_1 kleiner bzw. größer als o_2 ist. Beispiel: Gewicht von Ereignis $e_1(80)$ ist kleiner als das Gewicht von Ereignis $e_2(70)$ $eval(e_1.weight < e_2.weight) = false$.
\leq, \geq	Der „größer-gleich“ bzw. „kleiner-gleich“ Operator ermöglicht die Ordnung von telemedizinischen Ereignissen anhand ihrer Attributwerte. Das Ergebnis des Operators ist TRUE wenn o_1 kleiner-gleich bzw. größer-gleich o_2 ist. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 ist größer-gleich 80 $eval(e_1.pulse \geq 80) = true$.
=, !=	Die „ist gleich“ bzw. „ist nicht gleich“ Relation ermöglichen den Vergleich von Attributwerten telemedizinischer Ereignisse. Das Ergebnis des Operators ist TRUE wenn o_1 gleich bzw. nicht gleich o_2 ist.

	Beispiel: Blutdruck von Ereignis e_1 (120/80) ist gleich dem von Ereignis e_2 (120/80) $eval(e_1.bloodpressure = e_2.bloodpressure) = true$.
--	---

Logikoperatoren der Form $\sigma: A \times A \rightarrow (true, false)$ ermöglichen die Auswertung von Ausdrücken A wie in der nachfolgenden Tabelle 22 angegeben.

Tabelle 22: Übersicht über Logikoperatoren.

Operator	Beschreibung
<i>OR</i>	Das logische OR liefert TRUE, wenn die linke und / oder rechte Seite eines Ausdrucks wahr sind, sonst FALSE. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (80) ist größer als 80 Schläge pro Minute oder Blutdruck von Ereignis e_2 (120/80) ist kleiner als 110/75 $eval(e_1.pulse > 80 \text{ OR } e_2.bloodpressure < 110/75) = false$.
<i>AND</i>	Das logische AND liefert TRUE, wenn die linke und rechte Seite eines Ausdrucks wahr sind, sonst FALSE. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (80) ist größer als 70 Schläge pro Minute oder Blutdruck von Ereignis e_2 (120/80) ist kleiner als 140/80 $eval(e_1.pulse > 70 \text{ AND } e_2.bloodpressure < 140/80) = true$.
<i>NOT</i>	Das logische NOT liefert TRUE, wenn der auszuwertende Ausdruck FALSE ist und FALSE wenn der auszuwertende Ausdruck TRUE ist. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (80) ist größer als 80 Schläge pro Minute oder Blutdruck von Ereignis e_2 (120/80) ist kleiner als 110/75 $eval(e_1.pulse > 70 \text{ AND NOT } e_2.bloodpressure < 140/80) = false$.

Arithmetische Operatoren der Form $\sigma: O \times O \rightarrow O$ erwarten numerische Operanden und liefern einen numerischen Rückgabewert. Haben die Operanden unterschiedliche Typen, so entspricht der Ergebnistyp des Teilausdrucks dem größeren der beiden Operanden.

Tabelle 23: Arithmetische Operatoren im Überblick.

Operator	Beschreibung
+, -	Addition bzw. Subtraktion eines Wertes zu bzw. von einem Attributwert.
*, /	Multiplikation bzw. Division eines Wertes zu bzw. von einem Attributwert.
%	Der Restwert gibt den Rest einer ganzzahligen Division an.

Zeitliche Korrelationen spielen in telemedizinischen Szenarien eine entscheidende Rolle, insbesondere dann, wenn man eine Zeitreihe von telemedizinischen Ereignissen betrachtet. So kann die Messung eines erhöhten Wertes eines Vitalwerttypen X nach Messung eines ebenfalls erhöhten Vitalwertes vom Typ Y die Kritikalität der medizinischen Situation untermauern. Die in Tabelle 24 aufgelisteten Relationen der Form $\sigma: E^T \times E^T \rightarrow (true, false)$ sind an [All83] angelehnt:

Tabelle 24: Intervallbasierte Operationen nach Allen [All83].

Relation	Beschreibung
<i>after, before</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T vor oder nach einem Ereignis e_i^T stattgefunden hat. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (increased, 1.1.2012:10:00) ist nach dem Blutdruckanstieg e_2 (increased, 1.1.2012:09:00) kritisch angestiegen $eval(e_1 \text{ AFTER } e_2) = true$.
<i>isEqualTo</i>	Die Relation ist TRUE, wenn zwei Ereignisse e_i^T, e_j^T zeitgleich stattgefunden haben. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (measured, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:10:05) ist zur gleichen Zeit wie Blutdruck von Ereignis e_2 (measured, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:10:10) gemessen worden $eval(e_1 \text{ ISEQUALTO } e_2) = false$.
<i>overlaps</i>	Die Relation ist TRUE, wenn eine zeitliche Überlappung zwischen den Ereignissen e_i^T, e_j^T vorliegt. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (dropped, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:12:00) ist überlappend mit der Steigung von Blutdruck aus Ereignis e_2 (increased, 1.1.2012:11:00, 1.1.2012:13:00) gefallen $eval(e_1 \text{ OVERLAPS } e_2) = true$.
<i>during</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T während eines anderen Ereignisses e_i^T stattgefunden hat. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (increased, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:12:00) ist während eines Blutdruckanstiegs e_2 (increased, 1.1.2012:12:00, 1.1.2012:14:00) kritisch angestiegen $eval(e_1 \text{ DURING } e_2) = false$.
<i>finishes</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T zur gleichen Zeit wie ein Ereignis e_i^T endet. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (measured, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:10:05) ist zur gleichen Zeit wie Blutdruck von Ereignis e_2 (measured, 1.1.2012:10:03, 1.1.2012:10:05) gemessen worden $eval(e_1 \text{ FINISHES } e_2) = true$.
<i>starts</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T zur gleichen Zeit wie ein Ereignis e_i^T startet. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (measured, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:10:05) ist zur gleichen Zeit wie Blutdruck von Ereignis e_2 (measured, 1.1.2012:10:03, 1.1.2012:10:05) gemessen worden $eval(e_1 \text{ STARTS } e_2) = false$.
<i>meets</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T startet und zeitgleich ein Ereignis e_i^T endet. Beispiel: Puls von Ereignis e_1 (dropped, 1.1.2012:10:00, 1.1.2012:10:05) ist gefallen und anschließend der Blutdruck von Ereignis e_2 (increased, 1.1.2012:10:03, 1.1.2012:10:05) gestiegen $eval(e_1 \text{ MEETS } e_2) = true$.

Kausale Beziehungen $\sigma: E^T \times E^T \rightarrow (true, false)$ definieren Abhängigkeiten zwischen Ereignissen, insbesondere solche, die sich auf die Reihenfolge des Auftretens auswirken.

Tabelle 25: Kausale Operatoren.

Operator	Beschreibung
<i>followedBy</i>	Die Relation ist TRUE, wenn ein Ereignis e_j^T nach einem Ereignis e_i^T auftritt.

Eine Menge bzw. mengenähnliche Struktur wie z. B. ein Array ist eine Zusammenfassung von Elementen. Solche Elemente können Ereignisse, Zahlen u.a. sein.

Tabelle 26: Mengenbasierte Operatoren

Operator	Beschreibung
<i>between</i>	Die Relation ist TRUE, wenn sich ein gegebenes Element bzw. ein Wert im angegebenen Bereich befindet.
<i>in</i>	Die Relation ist TRUE, wenn sich ein gegebenes Element bzw. ein Wert in der Menge befindet.
<i>any</i>	Die Relation ist TRUE, wenn sich min. ein gegebenes Element bzw. ein Wert in der Menge befindet.

Ein Fenster (window) ist eine Zusammenfassung von Ereignissen, wobei das Intervall zeitbasiert (z. B. alle Ereignisse der letzten fünf Sekunden) oder anzahlbasiert (z. B. die letzten zehn Ereignisse) sein kann. Die Ordnung der Ereignisse im erzeugten Fenster kann beeinflusst werden, indem ein Sortierkriterium angegeben wird.

Tabelle 27: Fensterbasierte Operatoren im Überblick.

Operator	Beschreibung
<i>first</i>	Liefert das erste Ereignis in einem Fenster.
<i>last</i>	Liefert das letzte Ereignis in einem Fenster.
<i>previous</i>	Liefert, startend von einem gegebenen Ereignis, das vorhergehende Ereignis.

5.5 Telemedizinische ILOG Listener Profile (TIL-Profil)

Eine intelligente Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse nach den Prinzipien der Informationslogistik erfordert die Definition von Regeln zur Filterung und Aggregation dieser sowie Erkennung von Mustern und temporaler Zusammenhänge in bzw. von telemedizinischen Ereignissen. Forciert durch die technische und fachliche Diversität in telemedizinischen Szenarien (siehe Kapitel 1.1) spielt die Modularität, leichte Erweiterbarkeit und Austauschbarkeit von Regelwerken zur intelligenten Verarbeitung eine entscheidende Rolle. Existierenden Ansätzen, wie sie in Kapitel 3.5 und 3.4 vorgestellt wurden, mangelt es an der notwendigen Modularität, Standardisierung und Strukturierung der Verarbeitung, wie in Kapitel 4 erörtert.

Das Complex Event Processing bietet mit den Konzepten der Event Processing Agents und der Event Processing Networks Ansätze zur hierarchischen Strukturierung und Definition von Verarbeitungsketten. Hierauf basierend wird im Folgenden das Konzept der telemedizi-

nischen ILOG Listener Profile (TIL-Profil) erstellt, um so, anknüpfend an die Arbeiten zu den telemedizinischen ILOG Listnern, die Antworten auf die **Fragestellungen 3 und 5** zu untermauern. Zur Konzeption wird zudem Bezug auf die Anforderungen **A2, A3, A4 und A5** genommen.

5.5.1 Definition eines telemedizinischen ILOG Listener Profils

Die fachliche Motivation aus Sicht der Telemedizin zur Forcierung der Konzeption eines TIL-Profiles lässt sich wie folgt darstellen:

- **Profilbildung durch Filterung:** Ein telemedizinisches Szenario, wie z. B. die Überwachung von kardiologischen Patienten, umfasst immer eine Menge von Patienten und der am Patienten zu überwachenden Vitalwerttypen. Respektive bedarf es eines Konzeptes zur patientenspezifischen Filterung der eintreffenden Ereignisse und Weiterleitung dieser an die für den Patienten instanziierten telemedizinischen ILOG Listener. Somit ist ein TIL-Profil eine patientenspezifische Zusammenstellung von TILs.
- **Verwaltung der Verarbeitung telemedizinischer Informationen:** Dem TIL-Profil muss die Verwaltung der Verarbeitung durch die TILs und Zusammenführung der Ergebnisse obliegen.
- **Aggregation und Aufbereitung von telemedizinischen Informationen:** Wie bereits erarbeitet, besitzen telemedizinische Szenarien die Gefahr einer Förderung der Informationsübersorgung (**Definition 11**). Im Sinne der ganzheitlichen Überwachung eines Patienten müssten zur Beurteilung zu viele Daten an einen Arzt versendet werden. Dementsprechend muss das TIL-Profil telemedizinische Ereignisse in einer Art und Weise filtern, aggregieren und aufbereiten, das eine intelligente Informationsversorgung des Arztes erfolgt.

Die Basis zur Definition der TIL-Profile bilden die sogenannten Event Processing Networks (**Definition 17**). Ein EPN strukturiert die Verarbeitung, indem dieses den Ereignisstrom zwischen einzelnen Event Processing Agents durch Anwendung von Regeln (u.a. Filterung und Aggregation) koordiniert. Durch den Einsatz eines EPNs werden die folgenden Optimierungspotenziale in der Ereignisverarbeitung ermöglicht:

- **Wiederverwendbarkeit:** Durch die Möglichkeit der Vernetzung von einzelnen EPAs können Problemstellungen in Teilfragen bearbeitet werden. Somit können eben solche Teilfragen, sofern modular konzipiert, in verschiedenen Szenarien, respektive EPNs, eingesetzt werden.

- Vereinfachung von Event-Pattern: Durch die Möglichkeit einer Modularisierung der Verarbeitung kann die Modellierung von Event-Pattern vereinfacht werden, um so Fehler zu vermeiden.
- Beschleunigung der Verarbeitung: Durch eine frühzeitige Minimierung der Ereignisanzahl können nachgelagerte, komplexe Verarbeitungsprozesse zeitlich minimiert werden. Luckham [Luc02] betont die Notwendigkeit zur Filterung von Ereignissen zum frühestmöglichen Zeitpunkt, um eine effiziente Verarbeitung eben dieser gewährleisten zu können.
- Dynamische Kopplung: Ein EPN ermöglicht eine dynamische Einbindung von EPAs. Im Sinne der Telemedizin kann so die Evolution der medizinischen Situation eines Patienten (Stichwort Multimorbidität) abgebildet werden.

Ein Event Processing Network erfüllt somit die zu Anfang dieses Abschnitts beschriebene fachliche Motivation zur Konzeption von TIL-Profilen.

Formal ist ein TIL-Profil definiert als ein n -Tupel der Form $til_{profil} := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, TIL, VL)$ mit den folgenden Parametern:

- $TIL_{profil} := \bigcup_{n=1}^{\infty} til_{profil_n}$ ist die Menge aller TIL-Profile.
- et_{in} : Ereignistyp, auf dessen Basis die Eingangsereignisse instanziiert werden $instance_{ET}(et_{in}, data) = e_{in}$. Initial handelt es sich hierbei lediglich um den in Kapitel 5.3.2 definierten telemedizinischen Ereignistypen.
- ET_{out} : Analog zur Definition von et_{in} , ist ET_{out} eine Menge von Ereignistypen $|ET_{out}| \geq 1$ und zwar solche, die als Ausgabe des jeweiligen TILs erlaubt sind.
- f_{in} : Ein TIL-Profil ist immer spezialisiert auf die Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse für einen spezifischen Patienten. Somit müssen die eintreffenden telemedizinischen Ereignisse hinsichtlich des vermerkten Patienten gefiltert werden. Der hierzu eingesetzte Filter ist eine zustandslose boolesche Funktion der Form $f_{in} \rightarrow E^T : (true, false)$. Für zwei Eingangsfiler f_{in_1} und f_{in_2} gilt, dass $f_{in_1} \equiv f_{in_2}$ nur dann identisch sind, wenn $patient(f_{in_1}) = patient(f_{in_2})$ die Funktion für den gleichen Patienten filtert. Zwei paarweise verschiedene Funktionen $f_{in_1} \cap f_{in_2} = \emptyset$ sind immer überschneidungsfrei.
- TIL: Die Menge der in einem TIL-Profil für einen Patienten registrierten TILs ist $TIL := \{til_1, \dots, til_N\}$. Hierbei muss $|T| \geq 1$ gelten, also mindestens ein TIL im TIL-Profil registriert werden.
- VL: Jedes TIL-Profil besitzt zur nachgelagerten Verarbeitung der Ergebnisse der einzelnen telemedizinischen ILOG Listener einen Block mit Verarbeitungslogik VL . Hierbei handelt es sich um eine Menge von Regeln:

$$VL := \left\{ R \mid R = \left\{ \begin{array}{ll} f: E^T \rightarrow (true, false), & \text{Filter} \\ p: E \rightarrow E, & \text{Pattern} \\ t: E \rightarrow E, & \text{Transformation} \end{array} \right. \right\}$$

Zwei TIL-Profile sind identisch $til_{profil_1} \equiv til_{profil_2}$, wenn $et_{in_1} \equiv et_{in_2}$, $ET_{out_1} \equiv ET_{out_2}$, $f_{in_1} \equiv f_{in_2}$, $TIL_1 \equiv TIL_2$ und $VL_1 \equiv VL_2$.

Zusammengefasst lässt sich ein TIL-Profil wie folgt definieren:

Definition 30 – Telemedizinisches ILOG Listener Profil (TIL-Profil): Ein TIL-Profil ist ein n-Tupel der Form $til_{profil} := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, TIL, VL)$ und ermöglicht die patientenspezifische Komposition von TILs auf Basis von Event Processing Networks. Es filtert den eintreffenden Ereignisstrom und aggregiert die Ergebnisse der einzelnen TILs.

5.5.2 Konzeptioneller Aufbau eines TIL-Profils

Das TIL-Profil ist der wesentliche Basisbaustein zwischen den ereignisproduzierenden Akteuren auf der einen Seite und den konsumierenden Akteuren auf der anderen Seite. Ähnlich eines abgrenzbaren Arbeitsbereichs müssen in diesem patientenspezifische Fragestellungen beantwortet werden können.

Basierend auf **Definition 30** wird in der nachfolgenden Abbildung 24 der konzeptionelle Aufbau eines TIL-Profils skizziert.

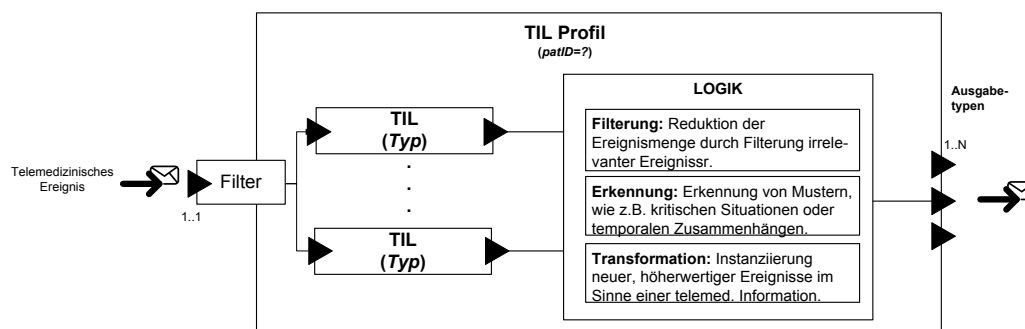


Abbildung 24: Konzeptionelle Darstellung eines TIL-Profils.

Sämtliche TIL-Profile werden an den allgemeinen Ereignisstrom der ereignisverarbeitenden Infrastruktur angebunden. Initiale Aufgabe eines jeden TIL-Profils ist die Filterung der für das Profil relevanten telemedizinischen Ereignisse. Relevant bedeutet hier, dass ein telemedizinisches Ereignis dem im Profil hinterlegten Patienten zugeordnet werden kann. Hierzu

wird die in der formalen Definition angegebene Filterfunktion $F_{in}: E \rightarrow (true, false)$ angewendet.

Sofern $F_{in}(e_i^T) = true$, wird das jeweilige gefilterte telemedizinische Ereignis e_i in das TIL-Profil und an die dort registrierten TILs weitergeleitet. Gemäß der **Definition 27** erfolgt durch die jeweiligen TILs eine weitere Selektion auf Basis des im telemedizinischen Ereignis transportierten Vitalwerttypen. Die Beschreibung der Verarbeitung innerhalb eines TIL erfolgt in Kapitel 5.4. Wesentlich für die weitere Verarbeitung durch das TIL-Profil sind die Ergebnisse der einzelnen telemedizinischen ILOG Listener.

5.6 Die ILOG-Engine: Informationslogistische Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse unter Anwendung von TIL-Profilen und TILs

In den voran gegangenen Kapiteln wurden die drei Basisbausteine telemedizinisches Ereignis, TIL-Profil und TIL formal definiert. Sie bilden die Basis zur Realisierung einer ILOG-Engine zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des Complex Event Processings. Noch fehlt es jedoch a) an der Repräsentation der informationslogistischen Grundprinzipien in den TIL und TIL-Profilen und b) einem übergreifenden Konzept, welches die Basisbausteine zusammenführt.

Im Rahmen dieses Unterkapitels gilt es deshalb, das konzeptuelle Zusammenspiel der drei Basisbausteine aufzuzeigen und die Metapher der Informationslogistik, respektive einer bedarfsgerechten Informationsversorgung mit telemedizinischen Informationen (**Definition 12**), innerhalb der Basisbausteine zu repräsentieren. Zielsetzung muss es schlussendlich sein, die Informationsübersorgung (**Definition 11**) in telemedizinischen Szenarien zu reduzieren. Dementsprechend wird bei der Zusammenführung der Konzepte insbesondere auf die **Fragestellungen 2 und 3** sowie den Anforderungen **A2, A4, A5 und A7** eingegangen.

5.6.1 Prozess zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse (TIEP-Prozess)

Die Konzeption von Vorgehensweisen zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis von CEP erfordert, die in Kapitel 3.2 erarbeiteten Charakteristika der Informationslogistik sowie die Komponenten einer ILOG-Engine gemäß **Definition 23** berücksichtigen zu müssen:

- Informationsbedarf in telemedizinischen Szenarien: Der Informationsbedarf bringt zum Ausdruck, inwiefern eine telemedizinische Information in einer gegebenen Situation

Relevanz besitzt. Der zu entwickelnde Lösungsansatz muss den zu erfüllenden Informationsbedarf erkennen und durch Bereitstellung relevanter Informationen befriedigen.

- Relevanz einer telemedizinischen Information: Direkt an die Fragestellung des Informationsbedarfs knüpft die Frage nach der Relevanz (**Definition 10**) einer telemedizinischen Information an. Wie die nachfolgende Formel zeigt, steht die Relevanz, unter Berücksichtigung der Validität und des Aufwands zum Zugriff, in direktem Zusammenhang zum Nutzwert der bereitgestellten telemedizinischen Information (siehe auch Kapitel 3.2).
- Ort, Zeit und Inhalt zur Bereitstellung einer telemedizinischen Information: Ort, Zeit und Inhalt sind die wesentlichen drei informationslogistischen Dimensionen, welche von einem ILOG-System erfüllt werden sollten. Gerade die Verarbeitung telemedizinischer Informationen in Form von Sensordaten weist eine hohe Zeitkritikalität auf. Gleichwohl ist die einzelne Bereitstellung des Inhalts aus jeder Vitalwertmessung wenig zielführend, so dass diese möglichst zu einer höherwertigen Information aggregiert werden sollten.
- Menge und Charakteristik telemedizinischer Informationen: Informationsübersorgung resultiert aus einem Missverhältnis zwischen der Menge und Komplexität an Informationen unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Zeit. Respektive müssen die Menge und die Komplexität durch hinreichende Transformation reduziert werden.

Zur Entwicklung einer Vorgehensweise, welche die o.g. Punkte berücksichtigt, soll die Verarbeitung von Daten und Informationen in den Bereichen des Data Minings, der Wissensentdeckung sowie des kognitiv physiologischen Monitorings betrachtet werden. Hierzu sind in Abbildung 25 drei Prozesse mit jeweils vier Aktivitäten dargestellt.

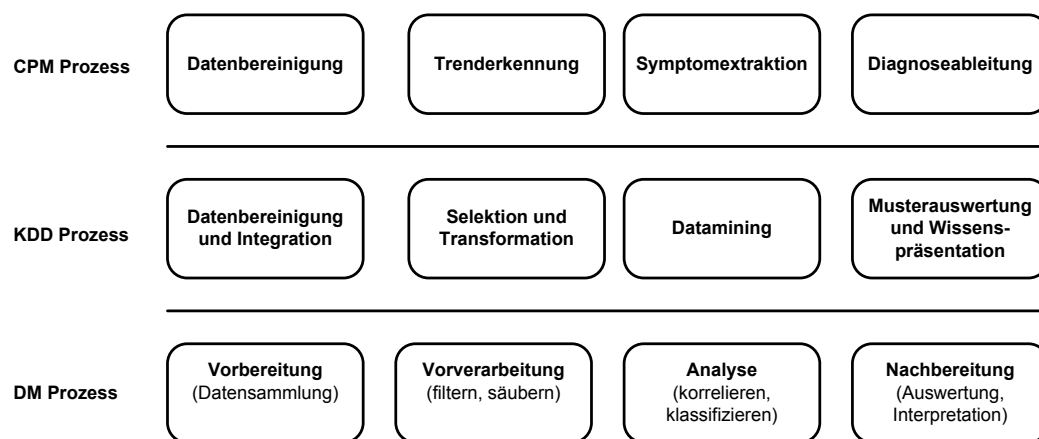


Abbildung 25: Verarbeitung von Daten in Data Mining (DM)-Anwendungen [Run10], im Bereich der Wissensentdeckung in Datenbanken (KDD) [HK05] sowie im Bereich des kognitiven physiologischen Monitorings (CPM) [Yan09].

Der Bereich des Data Minings definiert den Prozess zur Datenverarbeitung entlang der vier Aktivitäten der Vorbereitung, Vorverarbeitung, Analyse und Nachbearbeitung. Die Vorbereitung umfasst die Definition der Art der Daten, welche im Rahmen des Data Minings berücksichtigt werden sollen und die Identifikation initialer Merkmale. Der hieraus entstehende Datensatz aus verschiedensten durch Integration zusammengeführten Daten muss im nachfolgenden Schritt der Vorverarbeitung durch Anwendung unterschiedlichster Mechanismen gesäubert, gefiltert, korrigiert und ergänzt werden. Erst hiernach kann mithilfe verschiedener Algorithmen auf diesen Daten operiert werden. Durch Korrelations-, Regressions- oder Clusteranalysen werden Muster und Zusammenhänge in den Daten versucht aufzudecken. Abschließend werden die analysierten Daten in der Nachbereitung ausgewertet und es wird versucht, aus diesen Schlüsse zu ziehen.

Im Umfeld der Wissensentdeckung (Knowledge Discovery) können analog zum Data Mining-Prozess ebenfalls vier wesentliche Aktivitäten benannt werden. Initial müssen die z. B. durch Integration gesammelten Daten bereinigt werden. Durch Anwendung von Methoden zur Selektion und Transformation erfolgt die Normalisierung der Daten, um diese dem Data Mining-Prozess zuführen zu können. In diesem werden die normalisierten Daten mithilfe intelligenter Algorithmen analysiert. Zum Schluss müssen die durch das Mining erkannten Muster derart ausgewertet werden, dass für den Nutzer ein merklicher Wissensgewinn erzeugt wird.

Der kognitive Prozess des physiologischen Monitorings unterscheidet sich insofern von den Prozessen des Data Minings wie auch der Wissensentdeckung, als dass die anzuwendenden Aktivitäten auf kontinuierlichen Daten operieren. Zu eben diesen vier Aktivitäten zählen die Datenbereinigung, die Trenderkennung, die Symptomextraktion und die Diagnoseableitung. Die Datenbereinigung analysiert das Eingangssignal hinsichtlich in diesem enthaltener Ausreißer oder sonstiger Artefakte. Diese werden entfernt oder aber für die nachgelagerten Aktivitäten markiert. Nachfolgend werden auf dem vorverarbeiteten Signal Algorithmen zur Trenderkennung angewendet. Im medizinischen Bereich geht es insbesondere um die Erkennung steigender oder fallender Werteverläufe, sog. Trends bzw. Trend-Pattern. Diese sind die erste Form einer signifikanten Informationseinheit. Diese Informationseinheiten werden mit den Methoden der Symptomextraktion weiter aggregiert, um aus diesen mögliche Symptome abzuleiten. Abschließend gilt es, dass so erworbene neue Wissen zum Zweck der Ableitung einer Diagnose einzusetzen und dem Arzt in einer hinreichenden Form zu präsentieren.

Basierend auf den oben beschriebenen Prozessen zur Daten- und Informationsverarbeitung kann das in Abbildung 26 gezeigte Modell zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse, im Folgenden TIEP-Prozess (Telemedical ILOG Event Processing) genannt, abgeleitet werden. Der TIEP-Prozess zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis von CEP umfasst fünf Aktivitäten, die durch das Konzept der TIL-Profile und der

TILs gekapselt werden. Ähnlich den oben beschriebenen Prozessen beginnt der Prozess mit einer initialen Selektion anhand vorab definierter Merkmale. Gemäß der Definition eines TIL-Profiles ist dies ein Patientenidentifikator und bei einem TIL der Vitalwerttypidentifikator. Durch diese Aktivität wird somit die Menge der eintreffenden telemedizinischen Daten, respektive der Ereignisse, reduziert. Demzufolge muss es einen kausalen Zusammenhang zwischen dem Informationsbedarf und den beiden o.g. Identifikatoren geben. Ein Arzt ist lediglich an den telemedizinischen Ereignissen der ihm zugeordneten Patienten interessiert. Zudem besitzen in einer gegebenen medizinischen Situation nicht alle Vitalwerttypen Relevanz, weshalb eine Selektion eben solcher erfolgen muss.

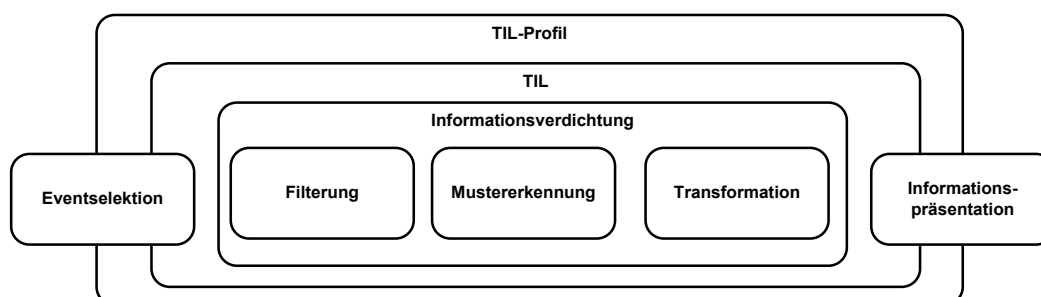


Abbildung 26: Fünf Aktivitäten zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse auf Basis des Complex Event Processings.

Nachfolgend erfolgt auf Basis der so selektierten Ereignisse der Prozess zur Informationsverdichtung, bestehend aus der Filterung, Erkennung von Mustern und der Transformation. Informationsverdichtung ist ein inhärenter Bestandteil sowohl der TILs, wie auch der TIL-Profile. Innerhalb eines TILs erfolgt durch die Filterung telemedizinischer Ereignisse eine Minimierung von Ausreißern und Artefakten, analog zum physiologischen Monitoring. Hierbei spielt die Berechnung der Relevanz eines einzelnen Ereignisses eine entscheidende Rolle. Die anschließende Mustererkennung umfasst die Entdeckung von Mustern in einer Serie von Ereignissen. Solche Muster können z. B. Trends sein. Die erkannten Muster müssen in einer verdichteten Form repräsentiert werden können, was die Aufgabe der Transformation ist. Durch diese Verdichtung wird wiederum die Menge an initialen telemedizinischen Daten reduziert, indem aus diesen Informationen mit einer höheren Relevanz, dementsprechend einem höheren Maß der Bedarfserfüllung, erzeugt werden. Die Repräsentation dieser Informationen erfolgt ebenfalls in Form von Ereignissen, jedoch keinen telemedizinischen Ereignissen, da es sich hier um eine Menge kausal miteinander verbundener Ereignisse handeln muss.

Der Prozess der Informationsverdichtung findet sich nicht nur auf Ebene der TILs, sondern auch auf der Ebene der TIL-Profile wieder. Filterung, Mustererkennung und Transformation werden hier nicht mehr auf einzelnen telemedizinischen Ereignissen angewendet, sondern

auf den durch die TILs verdichteten Informationen. Filterung bedeutet hier, erkannte, irrelevante Muster zu entfernen und so die Menge der Informationen zu minimieren. Analog zur Symptomerkenkung und Diagnosefindung des physiologischen Monitorings werden durch die Aktivität der Mustererkennung die eintreffenden, in Form von Mustern verdichteten Informationen, weiter verdichtet. Hierbei können Muster aus verschiedenen TILs und somit verschiedener Vitalwerttypen, miteinander in Beziehung gesetzt werden. Im Zusammenspiel mit der Aktivität der Transformation wird die so erzeugte relevante Information in eine für die weitere Verarbeitung geeignete Form transformiert.

Abschließend erfolgt die Aufbereitung zur Präsentation der Information für die möglichen Informationsempfänger. Relevante Parameter sind die typischen informationslogistischen Dimensionen Ort, Zeit und Inhalt.

5.6.2 Abbildung des TIEP-Prozesses auf die ILOG-Engine

Das im vorangegangenen Kapitel erarbeitete Verfahren zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse muss im Folgenden auf die ILOG-Engine gemäß **Definition 23** abgebildet werden. An dieser Stelle sei noch einmal rekapituliert, dass es sich hierbei um ein n -Tupel der Form $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$ handelt.

Die Informations- und Kontextquelle (IQ, KQ) werden im Rahmen dieser Arbeit durch die an der Vitalwertüberwachung beteiligten Vitalwertsensoren repräsentiert. Wie in Kapitel 5.3.3.2 spezifiziert, kommunizieren diese nach dem IEEE 11073 Standard mit einem definierten Endpunkt. Diesem Endpunkt obliegt a) die Transformation der nach dem IEEE DIM abgelegten Daten und b) die Anreicherung eben dieser, so dass die Spezifikation des HL7 Telemedical Event Formats erfüllt wird. Neben dem eigentlichen Vitalwert können an ein telemedizinisches Ereignis, wie bereits beschrieben, weitere Kontextinformationen gebunden werden:

- **Medizinischer Kontext:** Der medizinische Kontext ergänzt den gemessenen Vitalwert mit weiteren medizinischen Informationen, die im Rahmen der Messung eine Rolle gespielt haben. Hiermit kann z. B. auf an die Diagnose gebundene medizinische Dokumente verwiesen werden.
- **Mögliche Empfänger:** Ein telemedizinisches Ereignis transportiert sensible Daten, weshalb der Empfängerkreis eingeschränkt werden sollte. Durch die Benennung einer Menge von Akteuren können so Eskalationsstufen zur Verteilung einer verdichteten Information festgelegt werden.
- **Ort:** Der Ort kann im Rahmen einer Vitalwertmessung verschiedenste semantische Formen besitzen. Der räumlich betrachtete Ort kann das Zuhause sein oder eine GPS-

Koordinate außerhalb. Der Ort kann herangezogen werden, um die Kritikalität bzw. Relevanz eines erkannten Musters zu bestimmen.

- Zeit: Innerhalb eines telemedizinischen Ereignisses werden verschiedene Zeitpunkte dokumentiert, welche die Bestimmung der Relevanz unterstützen.

Dementsprechend erfüllen telemedizinische Ereignisse bzw. deren Repräsentation in Form des HL7 Telemedical Event Formats die Anforderungen einer ILOG-Engine als Informations- und Kontextquelle.

Das Bedarfs- und Angebotsmodell sind inhärent mit der Verarbeitungseinheit verknüpft, entscheiden diese doch, inwiefern ein gegebener Bedarf durch ein Angebot befriedigt werden kann. Die Formulierung des Bedarfs unter Nutzung der drei erarbeiteten Konzepte erfolgt:

1. als inhärenter Bestandteil der TIL und TIL-Profile.
2. als konfigurierbarer Bestandteil innerhalb von TIL und TIL-Profilen.

Der inhärente Bestandteil zur Repräsentation des Informationsbedarfs innerhalb eines TIL-Profiles ist durch seine Definition $TIL_{Profil} := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, T, VL)$ gegeben. Entscheidend ist hier die Selektion von Ereignissen des Ereignistypen et_{in} unter Anwendung der Filterfunktion f_{in} . Aufgabe dieser ist es, gemäß **Definition 30** die patientenspezifische Filterung von Ereignissen durchzuführen. Respektive werden so die eintreffenden Ereignisse patientenbezogen zu Informationen verdichtet und es können eben solche Informationsbedarfe erfüllt werden, die sich auf einen einzelnen Patienten beziehen. Nachfolgend werden alle telemedizinischen Ereignisse, die das TIL-Profil passiert haben, an die in diesem instanziierten TILs weitergeleitet. Hierbei wird eine weitere Dimension des Informationsbedarfs adressiert, nämlich die der Vitalwerttypspezifität. Ein TIL ist gemäß seiner Definition ein n-Tupel der Form $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$. Hierbei ist, analog zu einem TIL-Profil, et_{in} der Eingangseventtyp und f_{in} die Filterfunktion. Letztere filtert nicht patienten-, sondern vitalwerttypspezifisch. Zusammenfassend können durch TIL-Profile und TILs eintreffende telemedizinische Ereignisse also patienten- und vitalwerttypspezifisch gefiltert werden, um die Menge an Informationen zu reduzieren. Bezogen auf die fünf Aktivitäten des TIEP-Prozesses aus Abbildung 26 handelt es sich hierbei um die Aktivität der Ereignisselektion.

Neben den inhärenten Bestandteilen können ergänzende Regeln zur Konkretisierung des Informationsbedarfs innerhalb der TIL-Profile und TILs abgelegt werden. Bezogen auf die jeweiligen Definitionen dieser beiden Konzepte ist hier jeweils die Verarbeitungslogik (VL) zu betrachten. Mithilfe der Event Processing Language der eingesetzten Event Processing Engine können Logiken zur Bestimmung und Erfüllung des Informationsbedarfs in Form von Regeln formalisiert werden. Somit besteht jedoch ein direkter konzeptioneller Zusam-

menhang zwischen den Bedarfs- und Angebotsmodellen (BM, AM) und der Verarbeitungseinheit einer ILOG-Engine, ist die Verarbeitungslogik doch Bestandteil eben dieser. Die Verarbeitungseinheit einer ILOG-Engine übernimmt gemäß Abbildung 26 die Informationsverdichtung. Hierzu erfolgt eine Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse durch Ausführung der Aktivitäten zur Filterung, Erkennung von Mustern sowie der Transformation. Die hierzu in Kapitel 5.4.3 benannten Funktionen und Operatoren der jeweiligen EPL ermöglichen den Aufbau von Regeln zur Beschreibung des Informationsbedarfs und Berechnung eines entsprechenden Angebots.

Abschließend gilt es, gemäß des TIEP-Prozesses, auf Basis der hinterlegten Informationsbedarfe und des berechneten Informationsangebots die Informationen zu einem oder aber einer Auswahl von Empfängern zur richtigen Zeit zuzustellen, respektive die Informationen zu präsentieren. Auch hierzu wird die Verarbeitungslogik der Verarbeitungseinheit der ILOG-Engine herangezogen, um die verdichteten Informationen in eine hinreichende Repräsentationsform zu transformieren.

Zusammenfassend ist es somit möglich, die fünf wesentlichen Prozessschritte des TIEP-Prozesses in einer ILOG-Engine gemäß **Definition 23** abzubilden und so eine informationslogistische Verarbeitung zu gewährleisten. Im nachfolgenden Abschnitt wird nun das wesentliche Konzept der Temporalität zur Verarbeitung von Vitalwerten beschrieben. Dieses Konzept muss somit in der Verarbeitungseinheit über die Verarbeitungslogik repräsentierbar sein.

5.6.3 Bedeutung temporaler Aspekte in der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse

Wie bereits in Kapitel 3.3.4 erarbeitet, unterliegen die Erfassung medizinischer Parameter sowie das medizinische Handeln immer einem zeitlichen Verlauf. So ist die Erkennung und Bewertung eines Krankheitsbildes zwar immer eine Momentaufnahme, jedoch werden hierzu auch voran gegangene Gesundheitszustände berücksichtigt und verschiedene medizinische Parameter in einen Zusammenhang gebracht. Gerade in dem innerhalb dieser Arbeit betrachteten Bereich der Telemedizin - dem Telemonitoring - spielt Zeit eine entscheidende Rolle. Durch die zeitliche Betrachtung einer Menge telemedizinischer Ereignisse können Muster aufgedeckt werden, welche auf relevante medizinische Situationen hinweisen. Yang [Yan09] bezeichnet dieses Vorgehen als „physiological monitoring“ mit der Zielsetzung, „[...] to identify and correct undesirable situations and to optimize the patient’s care“. So tritt ein telemedizinisches Ereignis, z. B. eine Blutdruckmessung, zu einem gegebenen Zeitpunkt auf. Die Eigenschaften bzw. Attribute einer Reihe von telemedizinischen Ereignissen eines Vitalwerttypen zeigen im Zeitverlauf Konstanz oder aber eine Varianz. Somit können zwischen den einzelnen Messungen temporale Beziehungen bestehen. Im Folgenden soll ein tieferes Verständnis des Zeitbegriffs und dessen Verwendung zur Verarbeitung telemedizinischer

Ereignisse geschaffen werden. In den Kapiteln 5.6.5 und 5.6.4 erfolgt dann der Einsatz in den telemedizinischen ILOG Listern und TIL-Profilen zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse.

Gemäß Allen [All91, All83] sowie Vilai und McDermott [Vil82, McD82] existieren zwei Zeitkonzepte zur Definition der Zeit-Primitiven: zum einen intervallbasiert und zum anderen punktbasierend. Telemedizinische Ereignisse besitzen drei verschiedenen Zeitinformationen: 1. Den Zeitpunkt der Erzeugung des Ereignisses, 2. den Zeitpunkt der Erkennung des Ereignisses durch die ILOG-Engine und 3. den Zeitpunkt der Verarbeitung durch die ILOG-Engine. Hieraus folgt, dass telemedizinische Ereignisse keine Dauer besitzen. Sie sind die Repräsentation der Messung eines Vitalwertes zu einem diskreten Zeitpunkt entlang einer definierten Zeitachse.

Die Zeitachse ist, wie in Abbildung 27 gezeigt, eine linear geordnete Menge an Zeitpunkten. Konzeptionell kann es sich hierbei um eine endliche (diskrete) oder aber unendliche (kontinuierliche) Menge an Punkten handeln. Im Rahmen der Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse reicht eine endliche Menge jedoch aus. So können Diagnosen, Prognosen oder Messungen, z. B. in Form einer kalendarischen Repräsentation isomorph zu \mathbb{N} repräsentiert werden. Im Folgenden sei ein Zeitpunkt t_i eines telemedizinischen Ereignisses gemäß ISO 8601 repräsentiert in der Form $t_i = (yyyy - mm - ddTHH:MM:SS)$. ISO 8601 ist ein internationaler Standard und beschreibt die Darstellung numerischer Datumsformate und Zeitangaben. Zielsetzung der Norm ist es, den Austausch und den Vergleich von Datum und Zeit zwischen verschiedenen Systemen zu harmonisieren. Dementsprechend sind zwei Zeitpunkte gleich $t_1 = t_2$ wenn $time_{ISO8601}(e_1^T \cdot t_1) = time_{ISO8601}(e_2^T \cdot t_2)$, wenn die Repräsentation in Form von Zeitstempeln gleich ist.

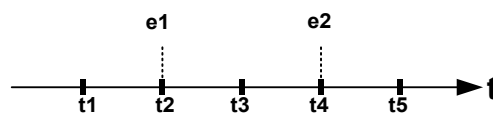


Abbildung 27: Lineare Ordnung der Zeitachse zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse.

Entlang dieser Zeitachse können temporale Beziehungen zwischen telemedizinischen Ereignissen aufgebaut werden. Solche Beziehungen sind relativ oder absolut [ZH07, CS97]. Gemäß der obigen Definition besitzen telemedizinische Ereignisse immer drei Zeitpunkte, über welche diese entlang einer Zeitachse angeordnet werden können. Kausale Beziehungen können, bedingt durch das Ursache-Zeit-Axiom, ebenfalls auf einer Zeitachse aufgetragen werden. Somit sind temporale Beziehungen telemedizinischer Ereignisse immer absolut. Relative Beziehungen, ausgedrückt über Signalwörter wie „vor“, „nach“, „direkt gefolgt“ etc.,

können wie folgt ausgedrückt werden: Ein typisches Beispiele einer relativen temporalen Beziehung sind einfache Ordnungsrelationen der Form $time_{ISO8601}(e_1^T.t1) < time_{ISO8601}(e_2^T.t2)$, z. B. eine Blutdruckmessung, die vor einer Messung des Gewichts erfolgt ist.

Solche Beziehungen beziehen sich auf diskrete Zeitrepräsentationen (einzelner Zeitpunkt), wie sie typisch sind für telemedizinische Ereignisse. Doch auch Perioden oder Intervalle spielen in der medizinischen Welt eine wichtige Rolle. So können Symptome periodisch wiederkehren oder aber über eine Zeitspanne mit definiertem oder undefiniertem Start- und Endpunkt andauern [Aug05]. Typische medizinische Ausdrücke, wie z. B. „der Blutdruck war über die letzten drei Tage erhöht“, repräsentieren eine in einem Intervall verteilte Menge von Messungen [ZH07]. Hierbei muss jedoch die Natur eines telemedizinischen Ereignisses immer im Hinterkopf behalten werden. So besteht zwar die Möglichkeit, dass ein erfasster Zustand, z. B. der Blutdruck, über einen gegebenen Messzeitpunkt hinaus konstant bleibt, aber ein telemedizinisches Ereignis repräsentiert lediglich den Zustand zu einem einzelnen Zeitpunkt. Somit kann aus dem Auftreten zweier telemedizinischer Ereignisse innerhalb eines Intervalls nicht geschlossen werden, dass der Zustand der ersten Messung bis zur zweiten Messung konstant bleibt. Eine Minimierung des Abstands zwischen zwei Messungen würde wiederum dem Prinzip der Informationslogistik, also einer Reduzierung der Informationsübersorgung, entgegenwirken. Respektive bedarf es an Modellen zur Zusammenfassung einer Menge von einzelnen Messpunkten zu einer semantischen Einheit. Eben dieser Aufgabe nimmt sich die temporale Datenabstraktion an.

Yang [Yan09] betont hier, dass es derzeit keine allgemeingültige Definition für die temporale Abstraktion gibt. Er beschreibt die Zielsetzung wie folgt: „to summarize a signal’s temporal characteristics for diagnostic monitoring“. Nguyen [NKH03] definiert den Prozess der temporalen Abstraktion als die Transformation von Zeitpunkten durch Abstraktion zu intervallbasierten Datenrepräsentationsformen. Ein wesentlicher Schritt zur temporalen Abstraktion kann die temporale Interpolation sein. Hierbei gilt es, die „Lücken“ zwischen einzelnen Zeitpunkten durch Wissen zu schließen, um so die Länge von Intervallen zu maximieren [Sha96]. Bellazzi [BLM+00] unterscheidet die folgenden Elemente: Zum einen zeitstempelbasierte Daten, Ereignisse genannt, und zum anderen sog. Episoden, die eine medizinische Situation über die Zeit beschreiben. Somit können mithilfe der temporalen Abstraktion einzelne Ereignisse zu Episoden zusammengeschlossen werden. Solche Episoden besitzen eine Semantik: Zum Beispiel können durch trendbasierte temporale Abstraktion steigend oder fallenden Muster erkannt und einer Episode von Ereignissen zugewiesen werden. Zwei wesentliche Parameter der temporalen Abstraktion sind demnach:

- Granularität: Bestimmt den maximalen Abstand zwischen zwei Ereignissen, damit diese zusammengefasst werden dürfen.

- **Minimale Ausdehnung:** Definiert die minimale Zeitspanne einer Episode.

In der Medizin finden sich hierzu Vorgaben, wie solche Episoden aussehen können. Neben medizinischen Lehrbüchern finden sich insbesondere in den medizinischen Leitlinien diagnosebezogene Hinweise. Solche Episoden werden auch als „Trend Templates“ bezeichnet [Yan09]. Haimowitz [HK96] definiert den Begriff als „a time-varying pattern in multiple variables common to a diagnostic population“. Solche Episoden repräsentieren somit die Erfahrungen von Ärzten über das Zusammenspiel von Ereignissen bei der Behandlung einer gegebenen Erkrankung. Durch ein Template wird somit ein Muster vorgegeben, welches es im Verlauf des Ereignisstroms zu erkennen gilt. Dies führt wiederum zum Begriff des sog. „Trend Pattern“, also eines erkannten Musters über den zeitlichen Verlauf hinweg, welcher nachfolgend genauer betrachtet wird.

Eine informationslogistische Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse erfordert somit eine Berücksichtigung temporaler Aspekte. Damit gilt es, die obigen Begriffe wie folgt in die Konzeption und Implementierung einer ILOG-Engine mit einzubeziehen:

- **Temporale Abstraktion:** Abstraktion ermöglicht die Verdichtung von einzelnen Vitalwertmessungen zu höherwertigen Informationen, indem diese zu einer semantische Einheit zusammengeführt werden. In einem ersten Schritt muss dies durch die TILs erfolgen, operieren sie doch mithilfe der Verarbeitungslogik VL auf den elementaren telemedizinischen Ereignissen, um Trend Pattern zu erkennen. In einem zweiten Schritt müssen die semantischen Einheiten, emittiert durch die TILs, im TIL-Profil zu relevanten Informationen verdichtet werden. Ein wichtiger Bestandteil zur Entscheidung über die Relevanz einer Menge von semantischen Einheiten sind Temporale Templates.
- **Trend Pattern:** Die Erkennung von Mustern im Ereignisstrom erfolgt auf Ebene der TILs. Unter Anwendung der Verarbeitungslogik werden Regeln und Abhängigkeiten definiert, welche die eintreffenden Ereignisse zu semantischen Einheiten zusammenführen.
- **Temporale Templates:** Im Sinne des Informationsbedarfs (IM) gilt es, eben solche Templates mithilfe der Verarbeitungslogik zu formalisieren. Sie benennen Abhängigkeiten zwischen den semantischen Einheiten, um diese zu höherwertigen Informationen zusammenzuführen.

In den nun folgenden Kapiteln wird unter Berücksichtigung der obigen Begriffe die informationslogistische Verarbeitung in TILs und TIL-Profilen beschrieben.

5.6.4 Informationslogistische Verarbeitung unter Anwendung telemedizinischer ILOG Listener

Die telemedizinischen ILOG Listener sind ein wesentlicher Basisbaustein zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse und den TIL-Profilen untergeordnet. Ein einzelner TIL ist gemäß **Definition 24** spezialisiert auf die Verarbeitung eines spezifischen Vitalwerttypen. Verarbeitung bedeutet hier, die in Kapitel 5.6 genannten Anforderungen zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse zu berücksichtigen und den Informationsbedarf eines Akteurs möglichst genau zu erfüllen. Ausgangspunkt ist ein einzelnes eintreffendes telemedizinisches Ereignis, respektive eine einzelne telemedizinische Vitalwertmessung. Gemäß **Definition 4** handelt es sich hierbei um ein telemedizinisches Datum, jedoch noch nicht um eine telemedizinische Information nach **Definition 5**.

Innerhalb eines telemedizinischen ILOG Listeners erfolgt die erste Verdichtung einzelner telemedizinischer Ereignisse zu telemedizinischen Informationen. Die Betrachtung einer einzelnen Vitalwertmessung ist hierzu jedoch nicht ausreichend. Wie bereits im Kapitel 5.6.3 skizziert, müssen telemedizinische Ereignisse in ihrem zeitlichen Verlauf betrachtet werden, um die Relevanz einer einzelnen Messung und somit auch das Maß der Erfüllung des Informationsbedarfs bestimmen zu können. Einzelne telemedizinische Ereignisse zu telemedizinische Informationen zu verdichten, bedeutet auch, die Menge und die Charakteristik der eintreffenden Vitalwerte so beeinflussen zu müssen, dass der Informationsbedarf bestmöglich erfüllt werden kann. Demnach müssen die Grundprinzipien der Informationslogistik durch Anwendung der zur Verfügung stehenden Regeltypen und Operatoren, wie in Kapitel 5.4.3 benannt, formalisiert werden. Die Erfüllung des Grundprinzips der Informationslogistik bedeutet, potenzielle Informationsempfänger bedarfsgerecht mit Informationen zu versorgen, indem die richtige Information zur richtigen Zeit an den richtigen Ort transportiert wird.

An dieser Stelle sei noch einmal hervorgehoben, dass ein TIL ein modulares Konzept ist, welches mit verschiedenen Algorithmen instanziiert werden kann. **Die Implementierung und Optimierung von Algorithmen ist nicht Teil dieser Arbeit.** Respektive gilt es im Folgenden, unter Berücksichtigung der Aspekte einer temporalen Abstraktion sowie der Erkennung von Trend Pattern, Vorgaben zur Konzeption, Optimierung und Implementierung von Algorithmen zu machen.

5.6.4.1 Temporale Abstraktion und Erkennung von Trend Pattern zur Verdichtung elementarer telemedizinischer Ereignisse

Die Erkennung von Mustern (Pattern) in einer Menge von telemedizinischen Ereignissen ist eines der wichtigsten Konzepte zur Bestimmung der Relevanz eines bzw. einer Menge von telemedizinischen Ereignissen sowie der Reduzierung der Informationsübersversorgung. Das

Vorgehen zur Zusammenfassung einzelner Ereignisse zu einer semantischen Einheit wird, wie bereits beschrieben, temporale Abstraktion genannt. Einzelne Zeitpunkte t_i , respektive Ereignisse, werden hierzu zu einem Intervall $I = [t_1, t_n]$ zusammengefasst.

Die Analyse telemedizinischer Ereignisse durch Anwendung von Techniken zur Mustererkennung kann mit unterschiedlichen Zielsetzungen erfolgen [Aug05, ZH07]:

- Prävention: Erkennung von Risikofaktoren und Vorhersage einer möglichen, in der Zukunft medizinisch relevanten Situation.
- Diagnose: Erkennung von Mustern innerhalb der Daten, die schon jetzt auf eine relevante medizinische Situation hinweisen.
- Therapie: Überwachung der Entwicklung medizinischer Parameter unter Berücksichtigung einer gegebenen medizinischen Situation.
- Prognose: Verarbeitung von eintreffenden Ereignissen unter Berücksichtigung einer gegebenen medizinischen Situation zur Vorhersage der daraus resultierenden Effekte.

Die Erreichung der o.g. Zielsetzungen ist somit auch von der Implementierung des jeweiligen Algorithmus abhängig. Somit gilt es, die Frage zu klären, welchen Grundprinzipien die Algorithmen unterliegen müssen, um eine flexible und erweiterbare Verarbeitung im Sinne der telemedizinischen ILOG Listener zu gewährleisten.

Bezogen auf die **Definition 27** eines TILs $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$ muss ein Algorithmus somit die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Das Eingangsdatum eines Algorithmus muss ein Ereignis des telemedizinischen Ereignistypen et_{in} gemäß **Definition 25** sein, welcher durch die Filterfunktion f_{in} verarbeitet werden kann.
- Die Ausgabe eines Algorithmus muss ein Ereignis auf Basis des Ereignistyps ET_{out} sein. Die Definition eines TILs gibt bewusst keine Einschränkungen vor, um eine Erweiterbarkeit zu gewährleisten. Eine Definition des im Rahmen dieser Arbeit genutzten Typen $et_{out} \in ET_{out}$ erfolgt weiter unten.
- Die eigentliche Verarbeitung erfolgt innerhalb der Verarbeitungslogik VL. Hierbei gilt es, zwei Vorgaben zu berücksichtigen: 1. Das Ergebnis muss eine Verdichtung der elementaren telemedizinischen Ereignisse zu einer semantischen Einheit der Form et_{out} sein. 2. Die Verarbeitung hat zum Ziel, Trends innerhalb des Ereignisstroms zu erkennen.

Im Folgenden muss somit zum einen definiert werden, was ein sog. Trend ist, und über welche Parameter dieser zu beschreiben ist. Zum anderen muss, abgeleitet aus der Trendbe-

schreibung, eine Struktur für et_{out} vorgegeben werden, um eine modulare, übergeordnete Verarbeitung innerhalb der TIL-Profile zu ermöglichen.

Ob Prävention, Diagnose, Therapie oder Prognose – allen gemein ist die Beschreibbarkeit des Gesundheitszustands eines Patienten über sog. Trends als eine qualitative Beschreibung von Vitalwerten [HMEP96]. Nach Yang [Yan09] ist ein Trend zu definieren als „a sustained, unidirectional change in a variable’s mean level“. Haimowitz [Hai94] fokussiert den Begriff im medizinischen Kontext wie folgt: “A trend is a clinically significant pattern in a sequence of time-ordered data.” Somit ist die Zielsetzung, unter Nutzung von Wissen über Zeitpunkte, Zeitintervalle und qualitative Trends sämtliche Parameter über eine einheitliche Sprache zu beschreiben. Im ärztlichen Umfeld ist dieses Vorgehen Gang und Gäbe, so kann z. B. der Blutdruck klassifiziert werden in optimal, normal, noch normal, leicht erhöht, mittel, stark erhöht. Neben der Werteklassifikation kann auch das dynamische Verhalten, z. B. die Dauer (kurz, mittel lang), über eine solche Sprache beschrieben werden.

In Abbildung 28 ist ein typisches Beispiel zur Anwendung temporaler Abstraktion unter Anwendung von Trend Pattern dargestellt.

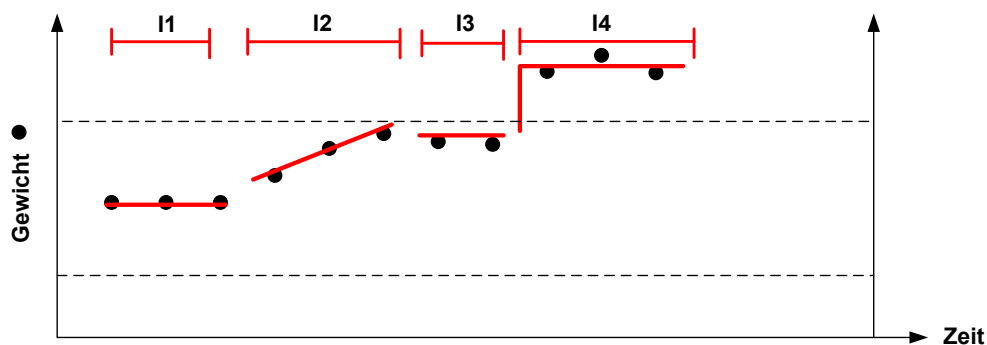


Abbildung 28: Anwendung temporaler Abstraktion unter Nutzung von Trend Pattern.



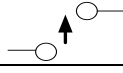
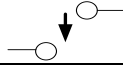
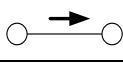
Im Diagramm ist das Gewicht gegen die Zeit aufgetragen, respektive erfolgt in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen eine Messung. Die gestrichelten Linien symbolisieren den Normbereich des Gewichts. Gerade dieser, definiert durch Schwellwerte, ist jedoch im medizinischen Kontext schwierig, sind Normbereiche doch patientenindividuell zu interpretieren. Unter Anwendung von medizinischem Wissen können die Zeitreihe der Vitalwertmessungen jedoch segmentiert und die Segmente abstrahiert werden. Das Ergebnis sind vier Segmente, die sogenannten Trends. I2 beschreibt zum Beispiel einen steigenden Trend, während I4 einen Sprung zu einem gleichbleibenden Trend symbolisiert.

Durch temporale Abstraktion können somit Trends beschrieben werden, die im Rahmen einer medizinischen Beurteilung Einsatz finden. Hieran schließt sich die Frage nach der Men-

ge der möglichen Trends sowie möglicher Parameter an. Nach Yang [Yan09] ist die Trendrichtung die wesentliche Eigenschaft. Haimowitz [Hai94] benennt die drei Klassen „stetig“, „fallend“ und „steigend“ zur Beschreibung von Trends im Rahmen von TrendX. Die Shape Definition Language beschreibt den Verlauf mithilfe eines endlichen Vokabulars der Form: Up, up, stable, zero, down, Down [Mit10]. Hierbei wird durch Groß- bzw. Kleinschreibung jeweils das Maß des Anstiegs oder des Abfalls symbolisiert. Charbonnier [Cha03] definiert zusätzlich zu den linearen Abbildungen oben noch zwei quadratische Abbildungen, womit sich insgesamt neun typische temporale Muster ergeben: increasing, decreasing, steady, positive step, negative step, positive step+slope, negative step+slope, concave transient convex transient. Zudem gibt es Methoden des Future-branchings, welche die Berechnung mehrerer Ausprägungen der Zukunft ermöglichen. Somit wird auch die Erkennung zirkulärer bzw. wiederkehrender Strukturen ermöglicht [Aug05].

Ein Algorithmus innerhalb eines TILs zur informationslogistischen Verarbeitung von telemedizinischen Ereignissen muss, resultierend aus der obigen Darstellung, mindestens die in der nachfolgenden Tabelle 28 benannten linearen Trendtypen unterstützen. Die Identifikation des Typs erfolgt jeweils über den Typ-Code.

Tabelle 28: Definition der relevanten Trends, welche durch einen Algorithmus zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse berücksichtigt werden müssen.

	Code	Typ	Identifier	Beschreibung
	T1	Fallend	DECREASING	Beschreibt einen fallenden Trend.
	T2	Steigend	INCREASING	Beschreibt einen steigenden Trend.
	T3	Sprung nach oben	SLOPUP	Beschreibt einen Sprung nach oben.
	T4	Sprung nach unten	SLOPDOWN	Beschreibt einen Sprung nach unten.
	T5	Gleichbleibend	STABLE	Beschreibt einen gleichbleibenden Trend.

Es ist jedoch nicht ausreichend, einen Trend nur über seine Richtung zu beschreiben. Aussagen wie z. B. „Der Blutdruck ist sehr schnell gestiegen“ sind typisch. So bestätigt Yang [Yan09], dass die Dauer und die Steigerungsrate berücksichtigt werden müssen. Nguyen [NKH03] analysierte unter Anwendung statistischer Verfahren über 900 temporale Sequenzen für die Erkrankung Hepatitis. Als Ergebnis konnte er die beiden folgenden Klassen identifizieren:

- Bereichsklassifikation: Normal, hoch, sehr hoch, extrem hoch, niedrig, sehr niedrig, extrem niedrig.

- Geschwindigkeitsklassifikation: langsam, schnell.

Horn [HMEP96] definiert im Rahmen von VIE-NET die folgenden Klassen zur Beschreibung von Trends:

- Abstraktion von Einzelwerten: Die Werte einer Vitalwertmessung werden mithilfe der folgenden Begriffe beschrieben: extremely below, substantially below, slightly below, target range, slightly above, substantially above, extremely above.
- Abstraktion der Dauer: Die Dauer des jeweiligen Trends wird über die Begriffe very short, short, medium, long beschrieben.
- Abstraktion der Steigung: Das Maß des Anstiegs und die Geschwindigkeit geben Aufschluss über die Kritikalität der Situation, weshalb die folgenden Abstraktionen von Horn eingeführt werden: dangerous increase / decrease, zero change, increase / decrease to slow, normal increase / decrease, increase / decrease to fast.

Zhou [ZH07] definiert im Rahmen seiner Arbeit eine Temporal Constraint Structure für Ereignisse, welche die Parameter „Startzeit“, „Dauer“, „Zeiteinheit“, „Trendtyp“ berücksichtigt. Ebenfalls dürfen Störgrößen (Noise) nicht vernachlässigt werden, charakterisieren sie doch die Qualität des Trends.

Auf Basis der oben genannten verschiedenen Formen zur Parametrierung von Trends, wird nachfolgend ein Format zur Beschreibung eines komplexen Ereignistypen et_{out} definiert, welcher von allen eingesetzten Algorithmen bedient werden muss.

5.6.4.2 Complex Trend Pattern Event

Das Ergebnis eines TILs $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$ durch Verarbeitung eines telemedizinischen Ereignisses vom Typ et_{in} ist ein komplexes Ereignis vom Typ $et_{out} \in ET_{out}$, im Folgenden Complex Trend Pattern Event (CTPE) genannt. Ein CTPE beschreibt den durch die temporale Abstraktion erkannten Trend und ist somit die Basis zur Weiterverarbeitung in den TIL-Profilen.

Der Aufbau des CTPEs gliedert sich in einen Header Bereich, in welchem essentielle Parameter zur Durchführung eines Complex Event Processings abgelegt sind. Es folgt der Body Bereich, in welchem ereignistypspezifische Parameter abgelegt werden. Im Payload Bereich können temporäre, EPE-spezifische Parameter zwischengespeichert werden. Das Ergebnis der Spezifikation befindet sich als XML-Schema im Anhang A1.

Die Parameter des Header-Bereichs sind angelehnt an die Definition des telemedizinischen Ereignisses (Tabelle 13, Tabelle 14) und sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 29: Zusammenfassung der Processing-Attribute

Parameterklasse	Code	Parameter	Beschreibung
Header	H1	simpleEvent	Definition, inwiefern es sich um ein einfaches oder komplexes Ereignis handelt. Im Falle des CTPE immer <i>false</i> .
	H2	Trend Pattern Event ID	Eindeutige Bezeichnung des Trend Pattern Ereignisses.
	H3	Vitalparameter	Benennung des Vitalparameters, für den eine Trenderkennung durchgeführt wird.
	H4	Quelle des Ereignisses	Benennung der zugrunde liegenden Ereignisquelle.
	H5	Patient ID	Eindeutige Bezeichnung des Patienten, dem das Ereignis zugewiesen wurde.
	H6.1 H6.2 H6.3	Erkennungszeitpunkt, Erstellungszeitpunkt, Verarbeitungszeitpunkt	Zeitpunkt der Trenderkennung, Trenderstellung und -verarbeitung.
	H7	Empfänger	Personen, die über diesen Trend informiert werden sollen.
	H8	Event Annotation	Bereich zur Speicherung von weiteren Informationen, die evtl. von Nutzen sein können.
	H9	Event Type ID	Identifizier zur eindeutigen Identifizierung des Ereignistyps.
	H10	Zeitgeber	Zeitgeber des ereignismittierenden Akteurs.
	H11	AlgorithmusID	Verwendeter Algorithmus für die Trendberechnung.
	H12	StatementID	Auslösendes Statement der Trendgenerierung. Über dieses wäre auch eine Nachverfolgung bis hin zu den verwendeten Parametern des Algorithmus möglich.

Nachfolgend werden die Parameter des Body-Bereichs aufgezählt. Diese untergliedern sich in Basisparameter, statistische Parameter und Trendabstraktionsparameter.

Tabelle 30: Auflistung der relevanten Parameter eines Complex Trend Pattern Events.

Parameterklasse	Code	Parameter	Beschreibung
Basisparameter	BP1	Trendtyp	Benennung des Trendtypen durch Angabe des Codes aus Tabelle 28.
	BP2	Start	Angabe des Startzeitpunkts

			des Trend Patterns.
	BP3	Ende	Angabe des Endzeitpunktes des Trend Patterns.
	BP4	Anzahl Ereignisse	Benennung der Anzahl der zugrunde liegenden telemedizinischen Ereignisse.
	BP5	Anzahl der nicht berücksichtigten Ereignisse	Benennung der Anzahl der telemedizinischen Ereignisse, die z. B. als Rauschen gefiltert wurden.
	BP6	Telemedizinische Ereignisse	Hierbei handelt es sich um eine Menge von Verweisen auf die zugrunde liegenden telemedizinischen Ereignisse.
Statistische Parameter	SP1	Mittelwert	Bestimmung des Mittelwerts der gemessenen Vitalwerte.
	SP2	Standardabweichung	Streuung der Vitalwerte um den Mittelwert.
	SP3	Korrelationskoeffizient	Bestimmung des linearen Zusammenhangs zur Erkennung der Trendrichtung (gegensinnig / gleichsinnig).
	SP4	Noise	Berechnete Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines signifikanten Rauschens.
	SP5	Minimum	Wiedergabe des minimalen Werts, welcher vom Trend angenommen wurde.
	SP6	Maximum	Wiedergabe des maximalen Werts, der vom Trend angenommen wurde.
	SP7	Steigung	Gibt die Steigung als numerischen Wert an.
Trendabstraktionsparameter	TP1	Steigungsrate	Abstraktion der Steigung gemäß Tabelle 31.
	TP2	Geschwindigkeit	Abstraktion der Geschwindigkeit gemäß Tabelle 32.
	TP3	Bereichsklassifikation	Abstraktion des Wertebereichs gemäß Tabelle 33.
	TP4	Dauer	Abstraktion der Dauer gemäß Tabelle 34.
	TP5	Anzahl	Abstraktion der Anzahl an Ereignissen gemäß Tabelle.

Die nachfolgende Tabelle 31 definiert die möglichen Steigerungsraten, resultierend aus der temporalen Abstraktion.

Tabelle 31: Klassifikation der Steigerungsraten.

Code	Name	Identifizier	Beschreibung
C1	Null	ZERO	Es gab keine (nur geringe) Änderungen im Steigungsverlauf des Trends.
C2	Normal	NORMAL	Der Steigungsverlauf des Trends ist normal.
C3	Signifikant	SIGNIFICANT	Es ist ein signifikanter Steigungsverlauf des Trends zu erkennen.

In Tabelle 32 erfolgt die Klassifikation der Geschwindigkeit der Trendentwicklung, resultierend aus der temporalen Abstraktion.

Tabelle 32: Klassifikation der Geschwindigkeit.

Code	Name	Identifizier	Beschreibung
C1	Langsam	SLOW	Der Werteverlauf ist zu schnell.
C2	Normal	NORMAL	Der Werteverlauf ist normal.
C3	Schnell	FAST	Der Werteverlauf ist zu langsam.

Tabelle 33 klassifiziert den Wertebereich des Trendverlaufs unter Anwendung der temporalen Abstraktion.

Tabelle 33: Klassifikation des Wertebereichs des Trendverlaufs.

Code	Name	Identifizier	Beschreibung
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	Der Werteverlauf des Trends ist extrem vermindert und deshalb kritisch.
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	Der Werteverlauf des Trends ist klinisch signifikant vermindert.
C3	Leicht vermindert	DECREASED	Der Werteverlauf des Trends ist leicht vermindert.
C4	Normal	NORMAL	Der Werteverlauf des Trends bewegt sich im Normbereich.
C5	Leicht erhöht	INCREASED	Der Werteverlauf des Trends ist leicht erhöht.
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	Der Werteverlauf des Trends ist klinisch signifikant erhöht.
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	Der Werteverlauf des Trends ist extrem erhöht und deshalb kritisch.

Die Klassifikation der Dauer des Trendverlaufs erfolgt in der nachfolgenden Tabelle 34, resultierend aus den Ergebnissen zur temporalen Abstraktion.

Tabelle 34: Klassifikation des Wertebereichs der Dauer.

Code	Name	Identifizier	Beschreibung
C1	Sehr kurz	VSHORT	Der Verlauf des Trends ist extrem kurz und ggf. zur Weiterverarbeitung nicht geeignet.

C2	Kurz	SHORT	Der Verlauf des Trends ist kurz, jedoch hinreichend lang, um einen Aufschluss über den Verlauf zu erhalten.
C3	Mittel	MIDDLE	Der Verlauf des Trends hat eine optimale Länge.
C4	Lang	LONG	Der Verlauf des Trends ist überproportional lang, kann jedoch genutzt werden.
C5	Sehr lang	VLONG	Der Verlauf des Trends ist extrem lang, ggf. resultierend aus einer zu starken Rauschunterdrückung des Algorithmus.

Die Anzahl der an dem Trend zugrunde liegenden Ereignisse kann, wie nachfolgend in Tabelle 35 beschrieben, klassifiziert werden.

Tabelle 35: Klassifikation der den Trend stützenden Anzahl an telemedizinischen Ereignissen.

Code	Name	Identifizier	Beschreibung
C1	Wenig	FEW	Nur wenige telemedizinische Ereignisse unterliegen dem Trend.
C2	Optimal	OPTIMAL	Dem Trend unterliegt eine optimale Menge an telemedizinischen Ereignissen.
C3	Viel	MANY	Der Trend wird durch viele telemedizinische Ereignisse gestützt.

Die oben dargestellten Klassifikationen erfordern eine Konfiguration zur Abbildung der nominalen Attribute auf Werte oder Wertebereiche metrischer Attribute. So muss definiert werden, dass z. B. ein durchschnittlicher Blutdruck von 140/85 als leicht erhöht zu klassifizieren ist. Die Bereiche müssen dabei nicht äquidistant sein, d. h. der Normbereich kann einen größeren Bereich umfassen als die Minima bzw. Maxima. Inwiefern diese Konfiguration patientenübergreifend oder patientenbezogen instanziiert wird, obliegt dem Algorithmus.

5.6.4.3 Vorgaben zur Implementierung eines Algorithmus für die Verarbeitungslogik

In den vorangegangenen Kapiteln wurde definiert, dass ein Algorithmus den Prozess zur temporalen Abstraktion derart unterstützen muss, dass hierdurch Trends erkannt und in Form eines CTPEs an das TIL-Profil weitergeleitet werden. Durch diesen Schritt wird die Anzahl der Daten minimiert, indem diese zu einer ersten Form von Information verdichtet werden.

Der einzusetzende Algorithmus sollte neben der Schnittstelle, definiert durch einen TIL $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$, auch eine Menge von Anforderungen zur Gewährleistung einer hohen Genauigkeit bedienen. Innerhalb von Echtzeitsystemen spielen hier insbesondere Faktoren wie die Erkennung, Eliminierung oder Behebung fehlerbehafteter Daten eine entscheidende Rolle. Horn [HMEP96] schlägt zur Validierung der Daten die folgende Methodik vor:

- Überprüfung des Wertebereichs: Sowohl einzelne Datenpunkte wie auch Trends können auf ihre Wertebereichsvalidität hin überprüft werden.
- Kausale Abhängigkeiten: Durch das in Beziehung setzen von einzelnen Ereignissen oder Trends können Inkonsistenzen aufgedeckt werden.
- Funktionale Abhängigkeiten: Durch Abhängigkeiten zwischen einzelnen Vitalwerten oder aber Trends kann der Wert eines anderen berechnet oder zumindest überprüft werden.
- Stabilität: Ein zu starkes Rauschen verhindert die Berechnung eines qualitativen Trends, weshalb eine Mindestlänge eingefordert werden muss, während derer der Trend stabil ist. Hierbei sind auch Methoden zur Glättung inkludiert.

Der Ablauf eines Algorithmus ist nachfolgend beschrieben.

Algorithmus 1: Pattern für einen Algorithmus zur Trenderkennung

Input:

```
ES      := {e1, ..., e∞} // Unbounded stream of Telemedical Events
```

Output:

```
ctpe    := // Detected Complex Trend Pattern Event
```

program

```
while ES is not empty do
```

```
    events = events + ea
```

```
    // 1. One thing you have to do is noise reduction
```

```
    events = reduceNoice(events)
```

```
    // 2. The algorithm has to detect changes to segmentate the  
    stream
```

```
    if isSegment(events) then
```

```
        // 3. As soon as a segment got detected the relevant trend  
        parameters have to be calculated. The vector V is defined  
        by the statistical and abstractional parameters of  
        Tabelle 30.
```

```
        V = calculateTrendValues(events)
```

```
        // 4. At last the ctpe event has to be constructed using the  
        V vector and the underlying events.
```

```
    ctpe = constructCTPE(V, events)

    return ctpe

end if

end while

end program
```

Es gibt verschiedene algorithmische Möglichkeiten und mathematische Verfahren, den obigen Ablauf zu implementieren. Eine Möglichkeit zur Online-Segmentierung von Daten eines Vitalwertmonitors liefert Charbonnier [Cha03, CBB04, CD08]. Hierbei wird die Methode der kumulierten Summe (CUSUM) angewendet, um den relativen Fehler der gemessenen Daten zu einer linearen Approximation zu bestimmen. Eine weitere sehr häufig genutzte Klasse an Verfahren sind die sog. ARMA (Autoregressive Moving Average) bzw. ARIMA-Modelle, sowie Kalman-Filter und Bayesche Vorhersagen [Yan09].

Da es im Rahmen dieser Arbeit jedoch um die Konzeption und Implementierung eines modularen Konzeptes geht, sollen mögliche algorithmische Verfahren nicht näher betrachtet werden. Im Rahmen der Implementierung in Kapitel 6 erfolgt ein kurzer Ausblick zur Nutzung CUSUM-basierter Methoden.

5.6.5 Informationslogistische Verarbeitung in TIL-Profilen

Neben den beschriebenen TILs sind die TIL-Profile der zweite wichtige Baustein zur informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse. Ein TIL-Profil ist gemäß **Definition 30** spezialisiert auf die Verarbeitung von telemedizinischen Ereignissen eines spezifischen Patienten. Hierzu sind dem jeweiligen Profil bzw. Patienten eine Menge von TILs zugeordnet, welche die für diesen Patienten gemessenen Vitalwerte, wie in Kapitel 5.6.4 beschrieben, verarbeiten. Das Ergebnis dieser Verarbeitung ist eine Menge von CTPEs, welche an die TIL-Profile zur weiteren Verdichtung weitergeleitet werden. Demnach obliegt dem Profil, die eintreffenden Ereignisse derart zu Informationen zu verdichten, dass der Informationsbedarf eines Anfragenden gedeckt werden kann.

Gemäß der Definition einer ILOG-Engine $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$ wird eine bedarfsgerechte Informationsbereitstellung dadurch erreicht, dass zu einem Bedarfsmodell (BM) auf Basis eines Angebotsmodells (AM) unter Nutzung der Verarbeitungseinheit (VE) die richtige Information bestimmt wird. Die folgenden Anforderungen müssen somit von einem TIL-Profil erfüllt werden:

- **Bedarfsformalisierung:** Innerhalb eines TIL-Profiles müssen sich Informationsbedarfe formalisieren und speichern lassen.
- **Informationsverdichtung:** Die in Form von CTPEs eintreffenden Trends müssen zu bedarfsgerechten Informationen verdichtet werden. Respektive muss das Bedarfsmodell die Definition von Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Trendtypen und Vitalwerttypen ermöglichen.
- **Bedarfserfüllung:** Die Erfüllung des formulierten Informationsbedarfs erfolgt durch Abgleich des Bedarfsmodells mit dem eines Angebots, welches es zu formalisieren gilt. Die Bedarfserfüllung sieht auch die Zustellung der Information unter Berücksichtigung von informationslogistischen Parametern vor.

Nachfolgend werden die Konzepte zur Bedarfsformalisierung, Informationsverdichtung sowie Bedarfserfüllung, welche der ILOG-Engine zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse unterliegen, erläutert.

5.6.5.1 Bedarfsformalisierung

Die Ermöglichung einer informationslogistischen Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse erfordert gemäß **Definition 23** eine Formalisierung des Informationsbedarfs derart, dass eine automatisierte Verarbeitung der eintreffenden Vitalwerte erfolgen kann. Bedarfe auf Vitalwerten zu formulieren bedeutet, medizinische Entscheidungen nachbilden zu müssen.


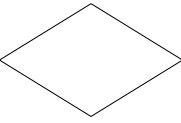



Zur Abbildung von Entscheidungen in der Medizin haben sich zwei Methoden etabliert [AKM08]:

- **Flussdiagramme:** Diese Klasse der Modellierungsmethoden ermöglicht eine prozessartige Darstellung des Entscheidungsprozesses. Es gibt keine Vorgaben für die einzusetzende Sprache. Um jedoch eine einheitliche Syntax und Semantik zu gewährleisten, hat die „Society for Medical Decision Making“ [Soc92] den „Clinical Algorithm Standard“ entwickelt. Es wurden vier verschiedene Typen von Elementen und eine Verbindung zwischen diesen definiert.
- **Strukturdiagramme:** Zu den bekanntesten Strukturdiagrammen in der Medizin zählen die Nassi-Shneidermann-Diagramme [NS73]. Die zur Verfügung stehenden grafischen Elemente sind in der DIN 66 261 normiert und ermöglichen eine hierarchische Definition von binären Entscheidungen sowie die Formulierung von Schleifen.

Zwar lassen sich mit Nassi-Shneidermann-Diagrammen sehr gut Entscheidungen abbilden, jedoch fehlt es an domänenspezifischen Elementen, weshalb im Rahmen dieser Arbeit der Clinical Algorithm Standard zur Modellierung von Entscheidungen und Abbildung von In-

formationsbedarfen erweitert werden soll. Zur Modellierung stehen die in der nachfolgenden Tabelle 36 dargestellten Elemente zur Verfügung.

Tabelle 36: Elemente zur Modellierung klinischer Entscheidungen nach dem Clinical Algorithm Standard [Soc92].

Grafische Notation	Name	Beschreibung
	Medizinischer Zustand	Hierbei handelt es sich um eine Art Startsymbol. Über dieses Symbol wird der aktuelle Gesundheitszustand bzw. das vorliegende medizinische Problem beschrieben.
	Entscheider	Der Entscheider besitzt jeweils immer einen Eingang und zwei Ausgänge, über welche eine Alternative (Ja / Nein) beschrieben wird. Innerhalb des Entscheiders wird die Bedienung spezifiziert.
	Aktivität	Eine Aktivität beschreibt das medizinische Handeln, resultierend aus einer Menge von getroffenen Entscheidungen. Ist die Aktivität rot koloriert, so handelt es sich um eine kritische Situation. Bei einer grünen Kolorierung handelt es sich um eine unkritische Situation. In beiden Fällen handelt es sich um eine relevante Aktivität.
	Verbinder	Über den Verbinder werden die o.g. Elemente miteinander verbunden. Sofern es sich um einen Entscheider handelt, so müssen die Ausgangsverbinder mit Ja oder Nein beschriftet werden. Der Nein-Fluss erfolgt hierbei von oben nach unten und der Ja-Fluss von links nach rechts. Verbinder dürfen sich nicht überschneiden und es darf auch keine andere Form der Beschriftung erfolgen.
	Terminator	Mithilfe dieses terminalen Symbols wird das Ende einer Bedingungsabfolge immer dann symbolisiert, wenn es sich um eine Situation ohne Relevanz handelt.

Um eine bessere Lesbarkeit zu erreichen, können die obigen Elemente (außer Verbinder) mit eindeutigen Identifizierern versehen werden. Medizinische Handlungsanweisungen sind jeweils zeilenweise aufzuschreiben und ggf. durch logische Operatoren zu verknüpfen. An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass die Mächtigkeit der im CEP zur Verfügung stehenden Operatoren deutlich größer ist als jene des Clinical Algorithm Standards. So gibt es keine formalen Vorgaben zur Ausgestaltung von Bedingungen sowie ebenfalls keine zur Beschreibung von Aktivitäten. Eine Automatisierung der Bedarfsformulierung macht dieses jedoch erforderlich. Respektive gilt es, eine Teilmenge einer Sprache zur Bedarfsformulierung, im Folgenden „Demand Modelling Language“ (DML) genannt, derart zu definieren, so dass die in dieser genutzten Sprachkonstrukte eine Teilmenge der Event Processing Language

age EPL bilden, also $DML \subset EPL$. Die DML ist also eine Verfeinerung bzw. Konkretisierung des Clinical Algorithm Standards.

Die ursprüngliche Definition zur Formulierung von Bedingungen innerhalb von Entscheidern ist im Hinblick auf Möglichkeiten im CEP nicht ausreichend. Aus diesem Grund wird eine Erweiterung bzw. Konkretisierung wie nachfolgend beschrieben vorgeschlagen. Auf Basis der in Kapitel 5.4.3 beschriebenen Operatoren muss eine Bedingung innerhalb eines Entscheiders wie nachfolgend beschrieben aufgebaut sein. Die Beschreibung erfolgt unter Nutzung der EBNF sowie der innerhalb der ABNF definierten Core Rules. Die EBNF (Erweiterte Backus-Naur-Form) ist eine Metasprache zur Formulierung kontextfreier Grammatiken und als ISO/IEC 14977:1996 standardisiert.

Spezifikation 1: Condition

gradient	= ? Values from Tabelle 31 ? ;
rate	= ? Values from Tabelle 32 ? ;
codomain	= ? Values from Tabelle 33 ? ;
duration	= ? Values from Tabelle 34 ? ;
quantity	= ? Values from Tabelle 35 ? ;
classifier	= gradient rate codomain duration quantity;
temporal	= "AFTER", "BEFORE", "ISEQUALTO", "OVERLAPS", "DURING", "FINISHES", "STARTS", "MEETS" ;
trend	= ? Values from Tabelle 28 ? ;
comparator	= < > = >= <= != ;
logic	= "AND" "OR" "NOT" "AND NOT" ;
number	= 1*DIGIT ;
ctpe	= ? A CTPE event ? ;
condition	= "(" ctpe.?attribute? (comparator number "=" classifier trend temporal ctpe) ")" (temporal condition logic condition);

Mithilfe der oben definierten Sprache lassen sich die im Rahmen der Bewertung eines Gesundheitszustands auf Basis medizinischer Leitlinien relevanten Fragen formulieren. Eine nicht vollständige Menge an Beispielen findet sich in der nachfolgenden Tabelle wieder.

Tabelle 37: Beispiele zur Nutzung der definierten Sprache.

Frage	Bedienung
Sind ein Anstieg des Blutdrucks und ein Anstieg des Pulses erkennbar?	(ctpe1.TP1 = INCREASING AND ctpe2.TP1 = INCREASING)
Erfolgte ein Anstieg des Blutdrucks, während der Puls gefallen ist?	(ctpe1.TP1 = INCREASING DURING ctpe2.TP1 = INCREASING)
War der Blutdruck höher als 120/80, während der Puls gefallen ist?	(ctpe1.BP[i].value > 120/80 DURING (ctpe2.TP1 = INCREASING))

Aus Sicht einer EPL sind alle Bedingungen, die zu einer Aktivität führen, als ein gemeinsames Statement zu formalisieren.

Neben der Erweiterung zur Formulierung von Bedingungen innerhalb von Entscheidern bedarf es einer Konkretisierung der Semantik innerhalb von Aktivitäten. Eine Aktivität ist eine Handlungsanweisung zur Bereitstellung einer Information und kann, basierend auf [Soc92], die folgenden Parameter umfassen:

- Informativer Text: Über diesen Parameter kann der darzustellende Text spezifiziert werden. Er beschreibt die erkannte Situation und ist ein verpflichtender Parameter.
- Empfänger: Als Informationsempfänger ist standardmäßig die Person eingetragen, für welche das Bedarfsprofil instanziiert wird. Nunmehr kann es aus Sicht einer informationslogistischen Bereitstellung von Informationen notwendig sein, weitere Akteure über die eingetretene medizinische Situation zu informieren.
- Kanäle: Die Zustellung einer Information kann über verschiedene Kanäle erfolgen, weshalb hier die jeweiligen Kanäle und Zugangsdaten zu benennen sind.
- Zeit: Aus Sicht der Informationslogistik kann eine Information nur dann eine hohe Relevanz besitzen, wenn sie zur richtigen Zeit zugestellt wird.

Basierend auf den obigen Beschreibungen ergibt sich die folgende Definition einer Aktivität:

Spezifikation 2: Activity	
information	= *CHAR ;
recipient	= ID [name] " " channel " " adress " " ;
name	= *CHAR ;
adress	= *CHAR ;
time	= "DIRECT" "DELAY" 1*DIGIT ;
channel	= "SMS" "EMAIL" "PHONE" "FAX" "JMS";

```

relevance      = "100" | 2*DIGIT ;

criticality    = "100" | 2*DIGIT ;

activity       = "INFORMATION" information ";" CRLF ;

               "RELEVANCE" relevance ";" CRLF ;

               "CRITICALITY" criticality ";" CRLF ;

               {"RECIPIENT" recipient time ";" CRLF} ;
    
```

Mithilfe der obigen Beschreibung lassen sich Aktivitäten wie folgt beschreiben:

Beispiel 1: Beschreibung einer Aktivität

INFORMATION Es ist zu einer Wassereinlagerung gekommen und es bedarf einer direkten Intervention durch Gabe von Diuretika zur Entlastung des Herzens.;

RELEVANCE 89;

CRITICALITY 100;

RECIPIENT 5 | Dr. Jan Meier | SMS | +491775640559 | DIRECT;

RECIPIENT 22 | Tina Muster | EMAIL | dita@blette.de | DIRECT;

Der Informationsbedarf wird wie in der nachfolgenden Abbildung 29 gezeigt modelliert.

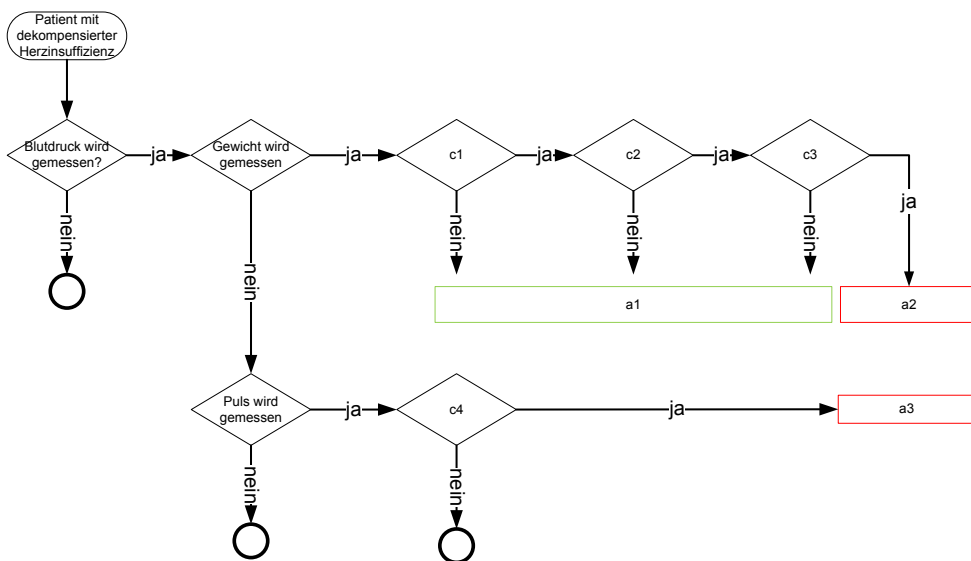


Abbildung 29: Beschreibung des Informationsbedarfs.

Die in der obigen Abbildung eingesetzten Bedingungen werden nachfolgend beschrieben. Die Aktivitäten folgen in der textuellen Beschreibung.

Tabelle 38: Exemplarische Bedingungen zur Überwachung von Patienten bei dekompensierter Herzinsuffizienz.

ID	Bedingung
c1	(blutdruck.BP1 = INCREASING OVERLAPS gewicht.BP1 = INCREASING)
c2	(blutdruck.BP1 = INCREASING) AND (blutdruck.SP1 > 150/80)
c3	(gewicht.BP1 = INCREASING) AND (gewicht.TP1 = SIGNIFICANT) AND (gewicht.TP2 = FAST)
c4	(blutdruck.BP1 = INCREASING) AND (blutdruck.SP1 > 150/80) AND (pulse.SP1 > 100) AND (pulse.TP4 = LONG)

Zu Beginn erfolgt die Abfrage welche Vitalwerttypen, durch das System ermittelt werden. Ausgangspunkt ist das Vorhandensein von Blutdruckmessungen. Sofern diese nicht vorhanden sind, kann keine auf dem medizinischen Zustand bezogene informationslogistische Verarbeitung erfolgen. Als unterstützende Vitalwerttypen können entweder das Gewicht oder der Puls herangezogen werden. Im Falle des Gewichts werden anschließend drei Bedingungen zur Erfüllung eines Informationsbedarfs beschrieben. Nur wenn alle drei Bedingungen positiv ausgewertet werden, liegt eine relevante bzw. kritische Situation vor. Aktivität 2 (a2) ist an dieser Stelle Platzhalter für die Zustellung einer bedarfsgerechten Information. Sofern das Gewicht als Vitalwerttyp nicht zur Verfügung steht, so muss der Puls als korrelierender Parameter berücksichtigt werden können. Ist dies möglich, so wird der Informationsbedarf über die Bedingung c4 bestimmt. Wird diese erfüllt, erfolgt eine Informationszustellung gemäß Aktivität 3 (a3).

Der Informationsbedarf IB, hinterlegt in einer ILOG-Engine $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$ zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse, ist somit zu spezifizieren:

1. als eine Menge von Bedingungen gemäß **Spezifikation 1**.
2. als eine Menge von Aktivitäten gemäß **Spezifikation 2**.

Respektive bedarf es eines Informationsbedarfsmodells der folgenden Art:

Spezifikation 3: Demand

```
demand = "DEMAND" (condition | condition "→" condition) CRLF ;
        "ACTION" activity "ELSE" activity ";" CRLF ;
demands = {demand} ;
```

Die jeweilige Spezifikation zur Repräsentation von Bedingungen und Aktivitäten ermöglicht eine hinreichende Formalisierung zur Verarbeitung durch die der ILOG-Engine zugrunde liegenden CEP-Engine. Im nachfolgenden Abschnitt werden auf dieser Basis die Vorgaben zur Implementierung von Algorithmen festgelegt.

5.6.5.2 Bedarfserfüllung

Die Erfüllung des Informationsbedarfs IB durch Nutzung einer ILOG-Engine $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$ bedeutet, mithilfe von TIL-Profilen $TIL_{Profil} := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, T, VL)$ und den hierin referenzierten TILs $til := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, VL)$ ein Informationsangebot zu formulieren.

Ein Angebotsmodell muss auf der einen Seite die einzelnen Informationsbedarfe (demand) des Bedarfsmodells eines Akteurs sowie die auszulösenden Aktivitäten (activity) berücksichtigen. Auf der anderen Seite müssen die eintreffenden CTPEs, welche ihrerseits informationslogistische Parameter in sich tragen, als Angebot gegenüber dem Bedarfsmodell formuliert werden. Hierzu bedarf es einer Aufbereitung eben dieser durch Filterung und Aggregation sowie einer entsprechenden Repräsentation. Nachfolgend wird eine entsprechende EBNF-basierte Spezifikation für ein Angebotsmodell vorgestellt.

Spezifikation 4: Offer

```

information = *CHAR ;

relevance = "100" | 2*DIGIT ;

ctpe = ? A CTP-Event ? ;

offer = "OFFER"

        "INFORMATION" information ";" CRLF ;

        "MAPS TO" demand CRLF

        "RELEVANCE" relevance

        "{REFERING CTPE" ctpe CRLF} ;

offers = {offer} ;

```

Ein Angebot besteht immer aus einer Information, dazugehörigen Bedingungen, der Angabe der Relevanz hinsichtlich der Bedarfserfüllung sowie den zu dieser Information gehörenden CTPEs. Das Angebotsmodell repräsentiert die Menge aller möglichen Angebote eines TIL-Profiles.

Im nachfolgenden Kapitel 5.6.5.3 wird das algorithmisch notwendige Vorgehen zum Abgleich von Informationsbedarf und Informationsangebot skizziert.

5.6.5.3 Vorgaben zur Implementierung von Algorithmen für die Verarbeitungslogik zur Informationsverdichtung

Die erste Verdichtung telemedizinischer Daten, respektive der Vitalwerte, erfolgte innerhalb der TILs indem die eintreffenden telemedizinischen Ereignisse durch temporale Abstraktion zu Trend Pattern bzw. CTPEs zusammengeführt wurden. Somit konnten die Anzahl der Einzeldaten und damit auch die Informationsübersorgung in einem ersten Schritt minimiert werden. Nunmehr bedarf es jedoch einer weiteren Verdichtung der CTPEs zu höherwertigen Informationen, welche den Informationsbedarf eines Anfragenden befriedigen. Bezogen auf die Definition eines TIL-Profiles $TIL_{profil} := (et_{in}, ET_{out}, f_{in}, T, VL)$ gilt es also zu definieren, wie die Verarbeitungslogik VL auf Basis des Bedarfs ein Informationsangebot erzeugt.

Der Informationsbedarf wird, wie in Kapitel 5.6.5.1 beschrieben, mithilfe der DML modelliert. Als Ergebnis entsteht eine Menge von Bedarfen, formuliert in Form von Bedingungen, sowie eine Menge von Aktivitäten. In einem ersten Schritt gilt es, die formalisierten Bedingungen der Verarbeitungslogik bekannt zu machen. Aufgrund der EBNF- Notationsweise auf Basis der in Kapitel 5.4.3 beschriebenen Operatoren, ist eine Abbildung zwischen der DML und der EPL möglich. Nunmehr gilt es, das algorithmische Vorgehen zur weiteren Verdichtung der eintreffenden CTPEs auf Basis der formalisierten Bedingungen zu beschreiben. Hierzu ist in Abbildung 30 ein Beispiel skizziert.

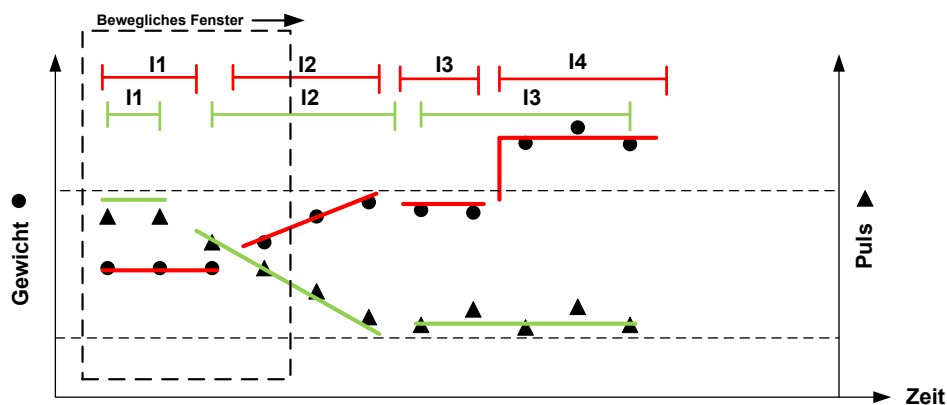


Abbildung 30: Skizzierung der Verarbeitung eintreffender CTPEs für die Vitalwerttypen Gewicht und Puls.

Gemessen werden die zwei Vitalwerttypen Gewicht und Puls, jeweils aufgetragen gegen die Zeit. Als Ergebnis der Verarbeitung durch die TILs, wie in Kapitel 5.6.4.1 beschrieben, werden CTPEs erzeugt (hier jeweils mit roten (R) und grünen (G) Intervallen gekennzeichnet). Wesentlich sind hier nun Korrelationen zwischen bzw. das Zusammenspiel von verschiedenen CTPEs. Beispiele für mögliche medizinische Fragestellungen wurden bereits in Tabelle 37 skizziert, wie z. B.: Sind ein Anstieg des Blutdrucks und ein Anstieg des Pulses erkennbar? (ctpe1 INCREASING AND ctpe2 INCREASING). Die Aufgabe der Verarbeitungslogik ist also das Erkennen von temporalen Zusammenhängen auf Basis von Intervallen und Zeitpunkten. Hierzu wurden im Kapitel 5.4.3 Tabelle 24 bereits die wesentlichen Operatoren nach Allen skizziert.

Nachfolgend wird ein grobes Pattern zur Implementierung eines Algorithmus unter Berücksichtigung der wesentlichen Ein- und Ausgabeparameter skizziert.

Algorithmus 2: Pattern für einen Algorithmus zur Relevanzbestimmung

Input:

```
demands      := //Set of specified information demands according
                to the specification in chapter 5.6.5.1.

offers       := // Set of specified information offers according
                to the specification in chapter 5.6.5.2.

CTPES        := {ctpe1, ..., ∞} // Unbounded stream of CTP-Events
```

Output:

```
Information  := // Detected Complex Trend Pattern Event
```

program

```
// Registers every demand demands[i] at the EPE in terms of a
relation (demand -> action). Every relation should be
represented as one statement within the Event Processing
Engine (EPE).

registerDemand(demands);

registerOffers(offers);

while CTPES is not empty do

    events := events + ctpea //Add the actual CTP-Event

    //In the following every demand -> action relation has to
    be checked whether it is fulfilled or not.

for all demands do
```

```
//In case of fulfillment an action has to be
triggered.

if fullFillsDemand (demands[i].demand, events) then

    demand    := demands[i]

    //Depending on the fulfilled demand the offer has to be
    retrieved

    offer      := getOffer(demands[i].demand)

    action     := demands[i].action

    // Upon the relevance of the action and the offer the
    overall relevance has to be calculated

    relevance := calculateRelevance(demand, offer)

    //The creation of a demand meeting information using
    the user defined action and information logistics
    parameters like receivers within the underlying events.

    information := createInformation(offer, action, events)

    return information

end if

end for

end program
```

Mögliche algorithmische Verfahren zur Implementierung eines solchen Algorithmus lassen sich im Bereich des Machine Learning und des Data Minings finden. Im Vordergrund stehen hierbei Verfahren, welche sich der Wahrscheinlichkeitsrechnung bedienen, wie z. B. ARIMA-Modelle (Autoregressive Integrated Moving Average). Hierbei wird ein Fenster entlang einer Zeitachse verschoben, um mögliche linearen Trends zu erkennen. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch die konkrete Implementierung keine Rolle spielen, steht doch die Systemarchitektur zur Modularisierung und Flexibilisierung der Verarbeitung in telemedizinischen Szenarien des Telemonitorings im Vordergrund. Im Rahmen der Implementierung in Kapitel 6 erfolgt deshalb der Einsatz existierender und etablierter Algorithmen.

5.7 Zusammenfassung

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die Konzepte zur Realisierung eines Systems zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitaldaten, gemessen über Verfahren des Telemonitoring, entwickelt. Die drei Basisbausteine hierzu sind das telemedizinische Ereignis, die telemedizinischen ILOG Listener und die telemedizinischen ILOG Listener Profile. Zusammengefasst werden diese innerhalb einer ILOG-Engine. Im Sinne einer Zusammenfassung werden nachfolgend die in Kapitel 4 erarbeiteten Fragestellungen und Anforderungen retrospektiv, hinsichtlich ihrer Erfüllung, rekapituliert.

Fragestellung 1: *Inwiefern lassen sich Ereignisse derart strukturieren bzw. standardisieren um a) eine Aufnahme von telemedizinischen Daten zu gewährleisten, b) Parameter zur informationslogistischen Verarbeitung darzustellen und c) eine Kommunikation mit existierenden medizinischen und telemedizinischen Systemen zu ermöglichen?*

Im Rahmen von Kapitel 5.3 erfolgte die Definition des telemedizinischen Ereignisses mit der Zielsetzung einer einheitlichen Repräsentation von Vitalwertmessungen auch über Infrastrukturgrenzen hinweg. Zur Gewährleistung einer informationslogistischen Verarbeitung unter Anwendung von Methoden des Complex Event Processings, wurden entsprechende Attribute definiert. Aus Sicht der Informationslogistik galt es insbesondere, Kontextdimensionen wie Ort und Zeit abzubilden. Zur besseren Lesbarkeit wurde das telemedizinische Ereignis in die vier Segmente „Type“, „Processing“, „Medical Content“ und „Payload“ unterteilt. Neben der konzeptionellen Darstellung bedurfte es einer hinreichenden Repräsentationsform im Sinne eines Austauschformats. Hierzu werden auf Basis der etablierten Standards HL7 und IEEE11073 das HL7 Telemedical Event Format spezifiziert. Aufgrund der breiten Akzeptanz können so ein Austausch mit existierenden Systemen im Gesundheitswesen sowie mit Sensoren gewährleistet und die Anforderungen **A1 und A7** umgesetzt werden.

Fragestellung 2: *Bieten Event Processing Engines hinreichende Möglichkeiten zur temporalen Verarbeitung in einem telemedizinischen Kontext?*

Die Mächtigkeit einer Event Processing Engine wird maßgeblich durch die der Implementierung zugrunde liegenden Algorithmen determiniert. Zur Definition von Verarbeitungsvorgängen wird die Event Processing Language der jeweiligen EPE eingesetzt. Im Rahmen von Kapitel 5.4.3 wurde hierzu gezeigt, welche Operatoren innerhalb einer EPL zumeist zur Verfügung stehen. Im Fokus der temporalen Verarbeitung stehen hierbei die Operatoren nach Allens Algebra. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde anschließend in Kapitel 5.6.4.1 gezeigt, wie mithilfe temporaler Beziehungen Daten zu höherwertigen Informationen abstra-

hiert werden können. Dementsprechend sind die Methoden des CEPs hinreichend, um eine temporale Verarbeitung zu gewährleisten und somit die Anforderungen **A3 und A8** erfüllbar.

Fragestellung 3: *Lassen sich Event Processing Agents und Event Processing Networks hinreichend instrumentalisieren, um eine mehrstufige Verarbeitung eintreffender telemedizinischer Daten in Form von Ereignissen zu ermöglichen?*

Den existierenden Lösungen, wie in Kapitel 3 gezeigt, fehlt es insbesondere an Verfahren zur Modularisierung der Verarbeitung, um so ein hohes Maß an Wiederverwertbarkeit einmal entwickelter Verarbeitungsbausteine zu gewährleisten. Nur so können Kosten- und Zeitaufwände in der Entwicklung eingespart werden. Bezogen auf die Möglichkeiten im Bereich des Complex Event Processings erfolgte eine Spezialisierung von EPAs und EPNs, genannt telemedizinische ILOG Listener (Kapitel 5.4) und telemedizinische ILOG Listener Profile (Kapitel 5.5). Durch Definition von Eingangs- und Ausgangsparametern sowie eines Verarbeitungsprozesses wird eine Modularisierung und Flexibilisierung der Verarbeitung erreicht. Die Zusammenführung der einzelnen Konzepte zur ILOG-Engine erfolgte im Rahmen von Kapitel 5.6. Zusammenfassend kann also aus konzeptioneller Sicht eine bessere Strukturierung der Verarbeitung unter Nutzung von Konzepten des CEPs gewährleistet werden. Die Anforderungen **A 4, A5 und A8** können somit erfüllt werden.

Fragestellung 4: *Besitzt eine Event Processing Language hinreichende Mächtigkeit zur Formalisierung des Informationsbedarfs im Einsatzbereich der Verarbeitung telemedizinischer Daten?*

Die Realisierung einer informationslogistischen Verarbeitung erfordert Konzepte zur Formalisierung des Informationsbedarfs in einer durch die EPE verarbeitbaren Form. Die Verarbeitung innerhalb einer EPE wird, wie oben bereits erwähnt, durch die EPL gesteuert. Somit gilt es Informationsbedarfe auf Sprachelemente der EPL abzubilden. Im Rahmen von Kapitel 5.6.5.1 wurde hierzu der Clinical Algorithm Standard als Mittel zur Modellierung eingesetzt. Durch Spezialisierung der Elemente konnte gezeigt werden, wie diese auf Elemente der EPL abgebildet werden können. Mithilfe der EBNF wurden Pseudosprachkonstrukte zur Abbildung von Bedingungen, Aktivitäten und Bedarfen modelliert. Die aus dem so formalisierten Informationsbedarf abgeleiteten Regeln, formalisiert auf Basis der EPL, ermöglichen die Aggregation von Complex Trend Pattern Events zu höherwertigen Informationen, welche dem Informationsbedarf entsprechen. Somit wird der Anforderung **A4** einer bedarfsgerechten Verarbeitung sowie der Anforderung **A11** einer Adressierbarkeit von Akteuren nachgekommen.

Fragestellung 5: *Welche Konzepte und insbesondere Operatoren muss eine EPE minimal zur Verfügung stellen, um eine Verarbeitbarkeit telemedizinischer Daten nach den Prinzipien der Informationslogistik gewährleisten zu können?*

Anknüpfend an Fragestellung 4, lässt sich die Antwort aus einer Betrachtung der Abbildung des Clinical Algorithm Standards auf die EPL ableiten. Die wesentlichen Elemente des CAS sind Kanten, Bedingungen und Aktivitäten. Bedingungen wiederum sind, wie in Kapitel 5.6.5.1 gezeigt, aus Komparatoren, logischen Verknüpfungen sowie temporalen Relationen aufgebaut. Wiederum wurde in Kapitel 5.6.5.1 gezeigt, dass eben diese auf eine EPL abbildbar sind. Somit kann eine bedarfsgerechte Verarbeitung von Vitalwerten unter Nutzung einer EPE gewährleistet werden.

Fragestellung 6: *Können im Kurzzeitgedächtnis genügend telemedizinische Werte zum Zweck einer informationslogistischen Verarbeitung zwischengespeichert werden und ab wann erfolgt der Übergang zu einem Langzeitgedächtnis?*

Wesentlich für die Frage, ob genügend Werte gespeichert werden können, ist die Beantwortung der Frage, ab wann der Übergang vom Kurzzeit- zum Langzeitgedächtnis erfolgt. Aus Sicht der Neurobiologie können zwei wesentliche Faktoren für eine Unterscheidung angeführt werden: „Menge an Information“ und „Intention der Nutzung“. Das Kurzzeitgedächtnis hat einen stark endlichen Speicher. Informationen werden lediglich für eine dem momentanen Bedarf entsprechende Verarbeitung gespeichert und danach verworfen. Übertragen auf eine Verarbeitung im Rahmen des CEPs gilt somit, dass nicht alleine die Zeitspanne, in welcher telemedizinische Ereignisse gespeichert werden, relevant ist, sondern die Menge denn die Intention des CEPs ist jeweils immer eine temporäre Verarbeitung der eintreffenden Daten in Echtzeit (Anforderung A9). Der Verarbeitung persistierter Daten nimmt sich das Data Mining an. Somit wird das Kurzzeitgedächtnis lediglich durch seine Speicherkapazität beschränkt und diese ist im Rahmen der Implementierung in Kapitel 6 skalierbar.

Fragestellung 7: *Inwiefern reicht die Darstellung in Form von Ereignissen aus bzw. welche weiterführenden Anforderungen existieren, um einen Datentransport zu externen Systemen gewährleisten zu können?*

Das wesentliche Element einer Kommunikation zwischen Akteuren, ob Mensch oder IT-System, ist die Sprache. IT-Systeme tendieren zu einer Nutzung von proprietären Sprachen, welche einen übergreifenden Daten- und Informationsaustausch verhindern. Standards unterstützen Kommunikation, indem sie Basissprachkonstrukte vorgeben, die durch alle Systeme unterstützt werden müssen. Im Gesundheitswesen ist HL7 der weltweit eingesetzte Standard für IT-Systeme. Aus diesem Grund wurde auf Basis dieses Standards das HL7 Telemedical Event Format (Kapitel 5.3.3) definiert, um Ereignisse verschiedener Systeme verarbeiten zu

können. Neben dem Datenformat spielt auch der Kommunikationskanal eine entscheidende Rolle. Die ILOG-Engine (Kapitel 5.6) macht hier deshalb keine Vorgaben, da der richtige Kommunikationskanal abhängig von der jeweiligen Situation bestimmt werden muss. Hiermit wird den Anforderungen **A1** sowie **A11** nachgekommen.

Im nachfolgenden Kapitel erfolgt zum Zweck einer späteren Evaluierung die Implementierung der hier vorgestellten Konzepte. Hierbei gilt es, neben den funktionalen Anforderungen **A1-A12** auch Bezug zu den nichtfunktionalen Anforderungen aus Kapitel 4 zu nehmen und die durch die Konzeption beantworteten Fragestellungen zu bestätigen.

6 TiEE - Die Telemedizinische ILOG Event Engine: Nachweis zur Realisierbarkeit der konzipierten ILOG-Engine

6.1 Einleitung

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Basisbausteine zur Realisierung eines Systems zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des Complex Event Processings konzipiert. Zusammengefasst wurden diese Konzepte zu einer ILOG-Engine der Form $ILOG_{Engine} := (IQ, KQ, BM, AM, VE)$. Zielsetzung eines solchen Systems ist es, den Entwicklungsaufwand für analytische Systeme im Bereich des Telemonitoring zu minimieren.

Mit TiEE, der Telemedizinischen ILOG Event Engine, wird im Rahmen dieses Kapitels ein Softwaresystem, welches die oben benannten Konzepte implementiert, konzipiert und die Implementierung dokumentiert. Hierzu erfolgen eine Erweiterung der Event Processing Engine Esper um telemedizinische ILOG Listener und TIL-Profile sowie eine Anpassung von Adaptern zur Entgegennahme von telemedizinischen Ereignissen. Auf Basis von TiEE erfolgt in Kapitel 7 die Evaluation der konzipierten und implementierten Konzepte, unter Berücksichtigung der definierten Use Cases.

6.2 Konzeption der TiEE-Gesamtarchitektur

Die Konzeption einer Gesamtarchitektur erfordert die Betrachtung gängiger Architekturpatern für ereignisverarbeitende Architekturen. Abbildung 31 zeigt das Ergebnis der Zusammenführung verschiedener Ansätze.

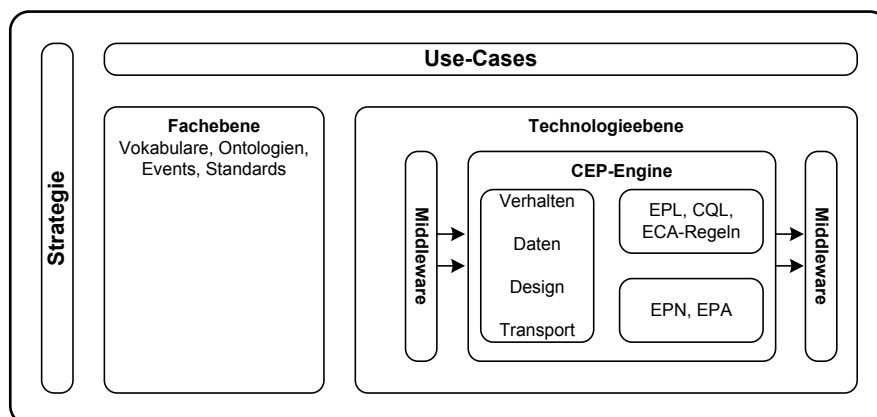


Abbildung 31: Architekturpattern für ereignisverarbeitende Architekturen (erweitert und angelehnt an [CEA11] und [BD10]).

Grundsätzlich kann zwischen einer fachlichen und einer technischen Ebene unterschieden werden. Erstere besteht aus einer (unternehmensspezifischen) Strategie, einer Beschreibung der wesentlichen Use Cases sowie der Skizzierung relevanter fachlicher Prozesse unter Berücksichtigung existierender Standards, Vokabular, etc. Letztere setzt sich mit den wesentlichen Elementen zur Implementierung und Realisierung einer Ereignisverarbeitung unter Berücksichtigung der fachlichen Aspekte auseinander.

Aus technischer Sicht können innerhalb des oben skizzierten Architekturpatterns bzw. Verarbeitungsmodells die nachfolgenden Basiskomponenten identifiziert werden [BD10]:

1. Eine EPE, die das ereignisverarbeitende System darstellt, den Ereignisstrom überwacht und eintreffende Ereignisse mithilfe weiterer Softwaremodule, den Event Processing Agents und Event Processing Networks, verarbeitet.
2. Ereignisquellen, z. B. in Form von Vitalwertsensoren, versenden Ereignisse an die jeweilige EPE. Weitere Ereignisquellen können die EPE selbst, aber auch Ereigniskonsumenten sein.
3. Ereigniskonsumenten, z. B. in Form von externen Informationssystemen, erhalten Ereignisse von der jeweiligen EPE und führen auf Basis dieser weitere Aktionen aus.
4. Eine Middleware bildet eine Fassade zwischen den Ereigniskonsumenten bzw. Ereignisquellen zum Transport von Ereignissen.

Unter dem Begriff TiEE, der Telemedizinischen ILOG Event Engine, werden nachfolgend alle konzeptionellen Arbeiten zum Zweck der Implementierung zusammengefasst. TiEE beschreibt somit die Gesamtarchitektur zur informationslogistischen Verarbeitung von telemedizinischen Ereignissen unter Nutzung von TIL und TIL-Profilen. Die nachfolgende Abbildung 32 skizziert unter Berücksichtigung des obigen Architekturpatterns die wesentlichen Komponenten der TiEE-Architektur.

Im Einzelnen gilt:

- Engine: Die Engine umfasst alle Konzepte zur Verarbeitung von telemedizinischen Ereignissen auf Basis des CEPs. Hierzu wird als Basis die Event Processing Engine Esper (siehe Kapitel 6.2.2.1) eingesetzt. Esper selber untergliedert sich in einen Verarbeitungskern (Core), eine Einheit zur Interpretation der Event Processing Language (Query) und zuletzt in eine Komponente zur Verwaltung von Konzepten zur kontinuierlichen Verarbeitung von Ereignissen, wie z. B. Event Processing Networks. Letztere wurde mit den Konzepten der TILs und TIL-Profile erweitert.

- Administrationsschnittstelle und Web-Client: Zur Ermöglichung einer benutzerfreundlichen Administration wurde eine Administrationsschnittstelle implementiert. Bei den jeweiligen Endpunkten handelt es sich um REST-basierte Webservices, die über eine Vaadin-basierte Weboberfläche (siehe auch Kapitel 6.2.2) angesteuert werden können. Durch Nutzung der Weboberfläche können TIL-Profil und TILs erstellt und verwaltet werden.
- Ereigniskanal: Über den Ereigniskanal werden die telemedizinischen Ereignisse zur Engine transportiert. Realisiert wurde dieser auf Basis von JMS.
- Health Device Gateway (HDG): Aufgabe des HDG ist die Kanalisierung, Steuerung, Transformation und Weiterleitung der eintreffenden (proprietären) Vitalwertdaten. Hierzu wird überprüft, ob alle notwendigen Attribute gemäß der Spezifikation des HL7 Telemedical Event Formats vorhanden sind. Zudem erfolgen infrastrukturenspezifische Transformationen und Anreicherungen mit zusätzlichen Daten.
- Informationssystem: Hierbei handelt es sich um ein beliebiges existierendes System zur Verarbeitung von Informationen. Die durch TiEE erzeugte entscheidungsrelevante Information wird an dieses ausgeliefert. Ein solches System ist jedoch kein expliziter Konzeptions- und Implementierungsbestandteil dieser Arbeit.

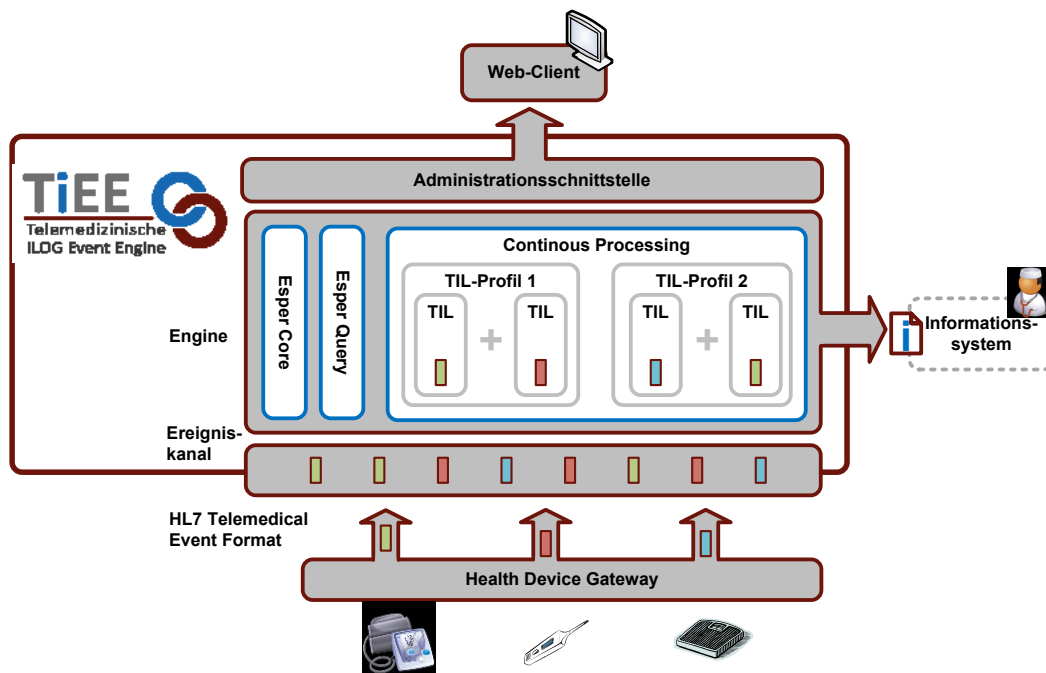


Abbildung 32: Überblick über die TiEE-Architektur.

Nachfolgend erfolgen eine Aufarbeitung der relevanten Anforderungen zur Implementierung von TiEE sowie eine detaillierte Komponentenbeschreibung unter Berücksichtigung der eingesetzten Technologien.

6.2.1 Anforderungen

Zum Zweck der Konzeption und Implementierung werden nachfolgend die wichtigsten funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen skizziert. Funktionale Anforderungen erhalten den Präfix „F“, während nichtfunktionale Anforderungen den Präfix „NF“ erhalten, jeweils gefolgt von einer ID.

6.2.1.1 Funktionale Anforderungen

Die funktionalen Anforderungen unterteilen sich in die Anforderungsklassen TIL-Profil (A), TIL (B), Administrationsschnittstelle (C), Health Device Gateway (D), modulübergreifend (E) sowie Logging und Nachvollziehbarkeit (F).

Tabelle 39: Anforderungen an die Implementierung von TIL-Profilen.

ID	Beschreibung
F_A1	Ein TIL-Profil ist genau einem Patienten zugeordnet und stellt hierzu einen abgegrenzten Ereignisverarbeitungsbereich zur Verfügung.
F_A2	Ein TIL-Profil ist genau einem Ereignisstrom zugeordnet. Hierzu erfolgt eine patientenbezogene Filterung aus dem Gesamtereignisstrom.
F_A3	Ein TIL-Profil muss die eintreffenden patientenspezifischen Ereignisse an die enthaltenen TILs vitalwerttypabhängig weiterleiten. Die TILs dürfen die Ereignisse nicht direkt von der EPE erhalten, da sie sonst nicht nur die erwünschten, sondern alle Ereignisse empfangen würden. Dies wäre ineffektiv und würde zu einer schlechten Performance führen.
F_A4	Ein TIL-Profil muss die Aggregation, Filterung und Weiterverarbeitung der durch die TILs generierten CTPEs ermöglichen.
F_A5	Ein TIL-Profil muss durch Anwendung der in der o.g. Anforderung benannten Mechanismen aus den eintreffenden CTPEs entscheidungsrelevante Informationen erzeugen.
F_A6	Ein TIL-Profil muss eine generierte entscheidungsrelevante Information über verschiedene Kommunikationskanäle verteilen können.
F_A7	Jedes TIL-Profil muss Schnittstellen zum Hinzufügen, Aktualisieren und Löschen von ganzen TILs und Verarbeitungsstatements sowie zur eigenen Deaktivierung besitzen.

Tabelle 40: Anforderungen an die Implementierung von TILs.

ID	Beschreibung
F_B1	Ein TIL muss einfache Trends (Anstieg, Abfall, Konstant, Sprung positiv, Sprung negativ) für Vitalwerte, gemäß der Spezifikation der CTPEs, erkennen können.
F_B2	Zur Erkennung von Trends muss ein TIL auf eine einfache Art und Weise mit verschiedenen Algorithmen instanziiert werden können.
F_B3	Ein TIL erzeugt komplexe Ereignisse gemäß der Spezifikation von CTPEs.
F_B4	Erstellte TILs, Statements und statistische Algorithmen sollen für unterschiedliche Szenarien, in denen eine gleiche oder ähnliche medizinische Problemstellung zu Grunde liegt, wiederverwendet werden können.

F_B2	TILs sollen nur auf einen ausgewählten Vitalwert reagieren. Es besteht demnach ein Bedarf, sämtliche TILs vom Gesamtereignisstrom zu isolieren und diese nur über für sie relevante Ereignisse zu informieren, wodurch eine Verarbeitung effizienter werden soll.
F_B3	Da die TILs vom Ereignisstrom getrennt werden sollen, wird eine separate Weiterleitung von Ereignissen notwendig, die die TILs mit Ereignissen versorgt.

Tabelle 41: Anforderungen an die Administrationsschnittstelle.

ID	Beschreibung
F_C1	Die Administrationsschnittstelle muss ein dynamisches Hinzufügen, Abändern und Entfernen von einzelnen TIL-Profilen, TILs, Statements und Statement-Listenern ermöglichen. Beim Entfernen muss auf Abhängigkeiten zwischen den Komponenten geachtet werden, nur so werden bspw. sämtliche Statements eines TILs mit entfernt und es bleiben keine Artefakte zurück. Der Benutzer muss vor dem Entfernen einer Komponente mit vorhandenen Abhängigkeiten auf diesen Sachverhalt hingewiesen werden.

Tabelle 42: Anforderungen an das Health Device Gateway.

ID	Beschreibung
F_D1	Das HDG ermöglicht eine Kommunikation mit Vitalwertmessgeräten zum Empfang neuer Vitalwertmessungen. Hierzu ist Bluetooth als Kommunikationskanal zu nutzen.
F_D2	Das HDG muss die Transformation eintreffender Vitalwertmessungen in das HL7 Telemedical Event Format ermöglichen.
F_D3	Das HDG muss Ereignisse im HL7 Telemedical Event Format an TiEE weiterleiten können.

Tabelle 43: Logging und Nachvollziehbarkeit.

ID	Beschreibung
F_F1	Es muss eine Protokollierung sämtlicher empfangener, erzeugter und versandter Ereignisse sowie Benachrichtigungen und Fehlermeldungen des Systems erfolgen.

6.2.1.2 Nichtfunktionale Anforderungen

Im Folgenden werden die relevanten nichtfunktionalen Anforderungen, angelehnt an ISO/IEC 9126 und Tabelle 9, skizziert.

Tabelle 44: Performance, Durchsatz, Antwortzeiten, Reaktionszeiten.

ID	Beschreibung
NF_A1	Das System muss dauerhaft einige hundert Ereignisse pro Sekunde und zu hoch frequentierten Zeiten einige tausende Ereignisse pro Sekunde ohne Probleme verarbeiten können.
NF_A2	Zu keiner Zeit dürfen Ereignisse einfach verloren gehen, auch nicht bei einer Überlastung oder einer kurzfristigen Unerreichbarkeit.

Tabelle 45: Verfügbarkeit, Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit.

ID	Beschreibung
NF_B1	Das System muss unter Berücksichtigung einer 24/7 Verfügbarkeit konzipiert und implementiert werden.
NF_B2	Die (temporäre) Deaktivierung von TiEE darf nicht zu einem Verlust von Ereignissen führen.
NF_B3	Einzelne Systemkomponenten müssen im Wartungsfall problemlos ausgetauscht werden können.

Tabelle 46: Datenschutz und Datensicherheit.

ID	Beschreibung
NF_C1	Der Transport von Daten ist mindestens durch eine SSL-Verbindung zu sichern.
NF_C2	Die übertragenen Ereignisse verweisen auf medizinische Informationen in Form vom Identifiern und sind selber keine Träger dieser. Somit wird eine Pseudonymisierung erreicht.

Tabelle 47: Unterstützung von Standards, Normen und Richtlinien.

ID	Beschreibung
NF_D1	Als Repräsentationsformen für Ereignisse muss XML unterstützt werden.
NF_D2	Die Kommunikation der Vitalwertsensoren mit dem HDG hat über Bluetooth zu erfolgen. Hierbei müssen mindestens die Profile HDP und SPP unterstützt werden.
NF_D3	Das HDG muss den IEEE 11073 Standard unterstützen.

Tabelle 48: Einzusetzende Sprachen, Methoden, Technologien und Werkzeuge.

ID	Beschreibung
NF_E1	Die Implementierung hat auf Basis der Programmiersprache Java zu erfolgen. Sämtliche notwendigen Frameworks sind entsprechend auszuwählen.
NF_E2	Die Modellierung von Systemkomponenten muss über UML erfolgen.

6.2.2 Programmiersprache und Technologien

Nachfolgend werden die im Rahmen der Konzeption und Implementierung eingesetzten Technologien beschrieben. Ein Fokus liegt auf der Vorstellung der Event Processing Engine Esper.

Sämtliche Implementierungsarbeiten und somit auch die eingesetzten Technologien basieren auf der Programmiersprache Java, wie in NF_E1 gefordert. Hierbei handelt es sich um eine objektorientierte Programmiersprache, deren Besonderheit die Cross-Betriebssystemkompatibilität ist. Hierzu wird der Quellcode in Java-Bytecode übersetzt, der auf dem jeweiligen Zielsystem unter Nutzung der Java Virtual Maschine ausgeführt wird. Seit 2010 erfolgt die Pflege und Weiterentwicklung der Programmiersprache durch die Firma Oracle.

Tabelle 49: Liste der im Rahmen der Implementierung eingesetzten Technologien.

Technologie	Beschreibung
JMX & MBeans	Java Management Extensions (JMX) ist eine vom Java Community Prozess (JSR-3) entwickelte Spezifikation zur Verwaltung und Überwachung von Java-Anwendungen. JMX bietet eine Managementarchitektur, APIs und Services für eine verteilte, dynamische und modulare Verwaltung von Java-unterstützten Ressourcen. In der ursprünglichen API unterstützte JMX nur die Kommunikation innerhalb einer JVM (Java Virtual Maschine), aber seit der Java Version 6 wurde auch die Kommunikation mit anderen JVMs unterstützt. Mbeans sind Java-Objekte, die den JMX-Konventionen entsprechen und Zugriff auf eine „Manageable Ressource“ ermöglichen. Es können Attribute gelesen und geschrieben sowie Methoden projektübergreifend ausgeführt werden. Über das MbeanServerConnection-Interface können Mbeans instanziiert, gesucht und ein Zugriff ermöglicht werden.
ApacheMQ/ JMS	Java Message Service (JMS) wurde 1989 von Sun Microsoft veröffentlicht und ist inzwischen Integraler Bestandteil der Java Enterprise Edition (Java EE). JMS ist eine API, die Syntax und Semantik für den Zugriff auf nachrichtenorientierte Middleware definiert. Verschiedene Hersteller bieten Implementierungen an, die dieser Spezifikation genügen. Jeder zu Java EE konforme Application Server muss über eine MOM-Implementierung verfügen. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Apache MQ Server eingesetzt. Anders als bei anderen Kommunikationsarten werden hier Nachrichten auf Basis einer nachrichtenorientierten Middleware asynchron mithilfe eines Vermittlers (Message Broker) und einer Warteschlange im MOM-Server versendet. Asynchron heißt in diesem Zusammenhang, dass das Senden und Empfangen von Daten zeitlich versetzt und ohne Blockieren des Prozesses durch bspw. Warten auf die Antwort des Empfängers durchgeführt werden kann.
Maven	In diesem Modul wird Maven zur Abhängigkeitsverwaltung und als Build-Tool verwendet. Maven übernimmt somit das Kompilieren und Ausführen des TiEE-Projektes in der Entwicklungsumgebung.
Spring	Spring ist ein offenes Framework, das generell die Entwicklung von Java-Anwendung erleichtert. In dieser Arbeit findet es Anwendung für eine vereinfachte Nachrichtenkommunikation auf Basis von JMS.
Web Services	Als weiterer Kommunikationskanal zu JMS werden RESTfull Webservice-Schnittstellen erstellt. Über diese werden Funktionalitäten zur Administration von TIL und TIL-Profilen ermöglicht. Die Schnittstellen bieten somit die Grundlage für eine nachträgliche Anpassung der im System befindlichen Objekte. Als Darstellungsform wird JSON verwendet.
Apache Camel	Um möglichst effizient mit internen JMS-Nachrichten umgehen zu können, wurde auf ein Framework von Apache zurückgegrif-

	<p>fen. Um genau zu sein verwendet Apache Camel selbst das sogenannte Spring Framework, das ebenfalls die Benutzung von JMS-Nachrichten vereinfacht. Es wird dennoch auf Apache Camel zurückgegriffen, da dieses Open Source Produkt ebenso die Fähigkeit besitzt, Nachrichtenrouten zu definieren. Auf diese Weise können, sofern einmal definiert, Nachrichtenrouten zusammengeführt, getrennt und jederzeit gelöscht und neu erstellt werden. Dies birgt den Vorteil, dass ein Nachrichtenrouting nicht manuell implementiert werden muss und auf die Funktionalitäten von Camel zurückgegriffen werden kann.</p>
Vaadin	<p>Vaadin ist ein Java Framework, das für die Erstellung moderner Webanwendungen entwickelt wurde. Mit vielen vorgefertigten Komponenten erleichtert es die schnelle Entwicklung größerer Funktionalitäten sowie übersichtlicher Webseiten. Sämtliche Komponenten wurden in Java entwickelt und können ebenso erweitert werden. Damit die Oberflächen benutzerindividuell gestaltet werden können, werden sogenannte Cascading Style Sheets (CSS) unterstützt. Zusätzliche Technologien wie AJAX, JSON oder das Google Web Toolkit wurden in der Entwicklung der Vaadin-Komponenten vorgesehen. Mit einer umfangreichen Dokumentation, Büchern und einem ausführlichen Tutorial lässt sich eine schnelle Einarbeitung in den Umgang mit Vaadin Komponenten gewährleisten. Vaadin unterliegt der Apache License Version 2.0 und gilt damit als OpenSource.</p>
Glassfish Application Server	<p>Glassfish ist ein OpenSource Web-Server, der eine Ausführungsumgebung für Applikationen bereitstellt und unter der GPLv2 verwendet werden kann. Für einen Einsatz wird das Java Development Kit (JDK) 5 oder höher vorausgesetzt. In der umfangreichen Administrationsoberfläche von Glassfish lassen sich eine Vielzahl von Parametrierungen vornehmen, wie die Verbindung mit mehreren Datenbanken oder Einstellungen zu Enterprise Java Beans. Ist eine Datenbankbindung erfolgreich, sorgt Glassfish automatisch für die Abwicklung von Transaktionen und einzelner Abfragen. Ebenso unterstützt Glassfish OSGI und stellt damit eine modulare und erweiterbare Architektur dar.</p>
MySQL	<p>MySQL ist ein hochwertiges und eigenständiges Datenbanksystem von MySQLTM und Oracle, das auf der relationalen Datenbanksprache SQL (Structured Query Language) basiert. In Kombination mit einem Web-Server lassen sich hervorragend Datenbestände erstellen, auslesen und verwalten. In solch einem Datenbanksystem können mehrere Datenbank-Schemata enthalten sein, die wiederum mehrere Tabellen subsumieren können. Neben einfachen Abfragen können ebenso Abhängigkeiten zwischen mehreren Tabellen definiert werden. Dieses Datenbanksystem wird als OpenSource unter der GPL-Lizenz angeboten und ist damit frei verfügbar. Für eine erfolgreiche Anbindung in einem Softwareprojekt muss lediglich der MySQL Connector angebunden werden. Über diesen lassen sich sämtliche Abfragen und Verbindungseinstellungen abwickeln.</p>

6.2.2.1 Event Processing Engine

Die Hauptkomponente der Architektur ist die Event Processing Engine, übernimmt sie doch die Verarbeitung der eintreffenden Ereignisse. Auf dem Markt befinden sich verschiedene kostenlose und kostenpflichtige EPEs. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Doktorarbeit eine Bachelorarbeit von Stahlmann zur Bewertung der beiden EPEs Esper und Etalis erstellt [Sta11a]. Die Ergebnisse sind unter [MS12a] veröffentlicht worden.

Sowohl Esper als auch Etalis sind weit verbreitet und erfüllen wesentliche Anforderungen: Sie sind als Open Source-Produkte verfügbar und somit in ihrer Funktionalität erweiterbar. Beide besitzen ein eigenes internes proprietäres Format zur Beschreibung von Ereignissen. Ein weiteres wesentliches Kriterium, insbesondere im Hinblick auf die spätere Erweiterung und Integration in eine größere Infrastruktur, ist die Implementierungssprache. Während Esper sowohl als .NET- wie auch als JAVA-Implementierung vorliegt, so ist Etalis hingegen als Prolog-Anwendung implementiert. Verschiedene weitere Aspekte beeinflussen die Nutzbarkeit im Rahmen der Entwicklung von TiEE, wie in der nachfolgenden Tabelle 50 dargestellt:

- Funktionsumfang der EPL: Die EPL beeinflusst wesentlich die Möglichkeiten zur Verarbeitung von Ereignissen. Gemäß Anforderung **A3** und **Fragestellung 2** sind insbesondere temporale Aspekte zu berücksichtigen.
- Algorithmische Basis: Den einzelnen EPEs liegen verschiedene formaltheoretische Konzepte zur Verarbeitung der durch die EPL formulierten Regeln zugrunde. Diese beeinflussen die Performance sowie auch die Leistungsfähigkeit.
- Performance: Telemedizinische Szenarien des Telemonitorings machen es erforderlich, eine hohe Anzahl an Ereignissen bzw. Vitalwerten pro Sekunde durch eine EPE verarbeiten zu lassen.
- Dokumentation: Die jeweilige EPE muss mit den in Kapitel 5 erarbeiteten Konzepten erweitert werden. Dies erfordert eine hinreichende Dokumentation eben dieser.
- Support: Unter Support sind sämtliche Aktivitäten, auch Foren, zusammengefasst, die bei der Entwicklung und Nutzung der jeweiligen EPE unterstützen. Ein guter Support ist ein Indiz für eine hohe Akzeptanz und Nutzung der jeweiligen EPE und sichert die Zukunftsfähigkeit des darauf implementierten Produktes ab.

Tabelle 50: Ergebnis des Vergleichs der Event Processing Engines Esper und Etalis (angelehnt an [Sta11a]).

	Esper	Etalis
Funktionsumfang EPL	Die EPL ermöglicht: Filterung, Eventfenster, Aggregationen, Konjunktionen / Disjunktionen, temporale Beziehungen sowie	Die EPL ermöglicht: Filterung, Eventfenster, Aggregationen, Konjunktionen / Disjunktionen, temporale

	Negationen.	Beziehungen sowie Negationen.
Algorithmische Basis	Esper basiert auf Rapide-EPL, eine deklarative Sprache um Event Patterns auszudrücken. Sie definiert grundlegende Funktionen zur Verarbeitung komplexer Ereignisse. Weiterhin bedient sich Esper an algorithmischen Konstrukten, wie Delta-Netzwerken, Binärbäumen, ANTLR und Lambda-Ausdrücken.	Etalis basiert auf Prolog. Dieses wiederum nutzt eine regelbasierte Sprache auf Basis von Logikregeln. Prolog-Engines implementieren einen nichtdeterministischen endlichen Automaten, mit dem ein Term der EPE direkt abgebildet werden kann.
Performance	Esper ist linear vertikal skalierbar und kann über 500000 Events/s auf einem 2GHz DualCore Intel Prozessor verarbeiten. Dies ergibt eine Latenz von unter 3 Mikrosekunden.	Test auf einem Testsystem mit einem Intel 2,4GHz Dual Core Prozessor und 3GB RAM ergaben ein Ergebnis von 1100 bis 1200 Ereignisse/s. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit zur linearen Skalierung.
Dokumentation	Esper liefert eine mächtige Referenzdokumentation sowie Dokumentation der API mit aus. Hierin sind technische Aspekte, Code Snippets, Tutorials und Betriebshinweise dokumentiert.	Die zur Verfügung stehende Dokumentation nimmt lediglich zu wenigen elementaren Grundfunktionen Bezug. Zudem wurde diese seit längerer Zeit nicht gepflegt.
Support	Neben einem Email Support stehen auch ein Forum und ein IRC-Channel zur Verfügung. Auf Fragen erhält man innerhalb kürzester Zeit eine Rückmeldung. Es können zusätzliche Supportpakete gekauft werden.	Die Community ist klein und eine Betreuung erfolgt wenn überhaupt durch die Entwickler selbst. Es besteht keine Möglichkeit zur Buchung professioneller Supportpakete.

Auch wenn sich der Funktionsumfang der EPL nicht wesentlich zwischen den beiden verglichenen EPEs unterscheidet, so sprechen insbesondere die Performance sowie die bessere Erweiterbarkeit für eine Nutzung von Esper.

Esper ist ein Framework zum Complex Event Processing, das von EsperTech ständig weiterentwickelt wird. Die erste finale Version von Esper wurde Anfang 2006 veröffentlicht. Das Framework ist als Open Source Lösung verfügbar und wird für Java (Esper) und .NET (NEsper) angeboten. Des Weiteren bietet EsperTech eine kostenpflichtige Enterprise Edition und eine ebenfalls kostenpflichtige High-Availability Lösung Namens EsperHA an. Esper wird in einer Vielzahl kommerzieller Lösungen und Produktivsystemen eingesetzt.

Der dargestellte Architekturansatz (siehe Abbildung 33) von Esper wird in die drei Schichten „Continuous Processing“, „Esper Query“ und „Esper Core“ unterteilt. Die letzte Schicht ist für Registrierung von Ereignisanfragen und Pattern Statements verantwortlich. Erst nach einer erfolgreichen Registrierung werden diese auf Erfüllung geprüft und somit in den Verarbeitungsprozess eingebunden. Die mittlere Schicht "Esper Query" erfüllt den Zweck der Query-Erzeugung und der formalen Prüfung auf syntaktische Korrektheit. Die oberste Schicht ist mit der Instanziierung der Esper Engine gleichzusetzen und übernimmt die Verarbeitung der telemedizinischen Ereignisse. In dieser Schicht leben die registrierten Statements, die bei einer Erfüllung weitere Verarbeitungsschritte initiieren.

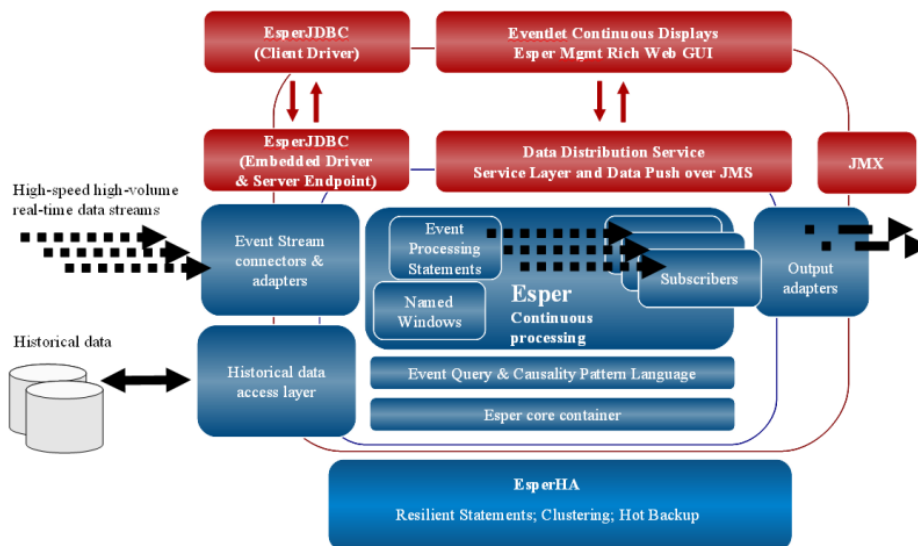


Abbildung 33: Architektur der Event Processing Engine Esper.

6.3 Komponentenspezifikation und Implementierung

Basierend auf der Grobarchitektur aus Abbildung 32 sollen im Folgenden die Kernkomponenten von TiEE beschrieben und modelliert werden. Zur Modellierung erfolgt der Einsatz der grafischen Notationsprache UML in der Version 2.0, wie in NF_E2 gefordert.

UML steht für Unified Modeling Language und ist eine allgemeine Modellierungssprache. Aufgrund der Allgemeingültigkeit ist ihr Einsatz nicht nur auf die Softwareentwicklung beschränkt. Kecher listet die folgenden Vorteile der Modellierung mit UML auf [Kec11]:

- Eindeutigkeit: Die Notationselemente besitzen eine eindeutige Semantik.

- Verständlichkeit: Einfach gehaltene Notationselemente und verschiedene Diagrammtypen erlauben eine klare grafische Strukturierung.
- Ausdrucksstärke: UML erlaubt eine fast vollständige Definition von Softwaresystemen.
- Standardisierung und Akzeptanz: Weltweiter Einsatz und Weiterentwicklung durch die Object Management Group.
- Plattform- und Sprachunabhängigkeit: Es besehen keinerlei Beschränkungen.
- Unabhängigkeit von Vorgehensmodellen: Strategien zur Modellierung mit UML sind unabhängig von den Vorgehensmodellen in der Softwareentwicklung.

Abbildung 34 skizziert die Verteilung der an TiEE beteiligten Komponenten anhand eines Verteilungsdiagramms.

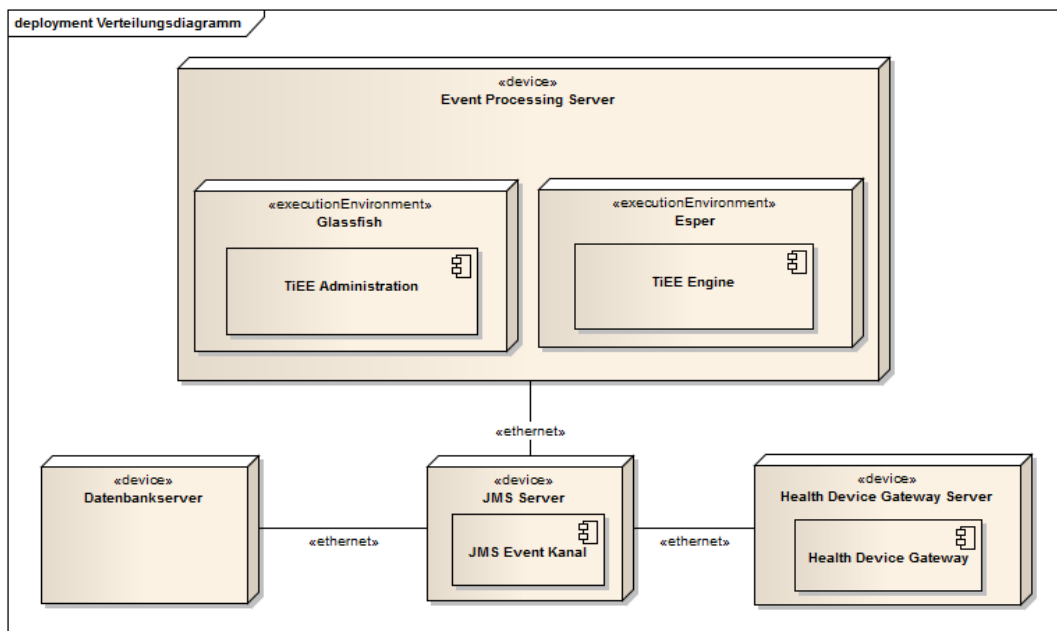


Abbildung 34: Verteilung der an TiEE beteiligten Komponenten.

Schon bei dieser Konzeption wurde Wert auf hohe Modularisierung, Flexibilisierung und Skalierbarkeit gelegt. Hierzu erfolgte die Aufteilung von vier Kernkomponenten auf einzelne Systeme:

- Event Processing Server: Aufgabe dieses Servers ist die Bereitstellung sämtlicher Funktionalitäten zur Ereignisverarbeitung, respektive der **TiEE Engine**. Neben der Event Processing Engine Esper wird hier auch der Glassfish Application Server zur Bereitstellung der **TiEE-Administrationsschnittstelle** betrieben.
- Datenbankserver: Diesem Server obliegt die Bereitstellung von Funktionen zur Datenablage und Datenverwaltung. Hierzu erfolgt eine Nutzung der Datenbank MySQL

- **JMS Server:** Hierbei handelt es sich um die Serverkomponente zum Betrieb von Komponenten, notwendig zum Transport von Ereignissen, respektive dem **JMS Ereigniskanal**. Zur Realisierung wird Apache ActiveMQ eingesetzt.
- **Health Device Gateway (HDG) Server:** Das **HDG** ermöglicht die Kommunikation mit den Bluetooth-Vitalwertsensoren unter Nutzung des Bluetooth Serial Port Profiles (SPP) und des Bluetooth Health Device Profiles (HDP). Das HDG transformiert die eintreffenden Daten in durch die TiEE-Engine verarbeitbaren Ereignisse.

Die Modularisierung in vier autarke Serversysteme ermöglicht einen schnellen Austausch sowie eine bessere Wartbarkeit und Fehlerbehebung, indem einzelne Teilsysteme abgeschaltet bzw. durch Redundanz ausgetauscht werden können. Somit wird den nichtfunktionalen Anforderungen NF_B1, NF_B2, NF_B3 nachgekommen.

Nachfolgend werden die Kernkomponenten TiEE-Engine, TiEE-Administrationsschnittstelle, JMS-Ereigniskanal und Health Device Gateway detailliert modelliert und beschrieben.

6.3.1 TiEE-Engine

Die TiEE-Engine, wie im Komponentendiagramm in Abbildung 35 skizziert, ist das Kernstück zur Verarbeitung der eintreffenden telemedizinischen Ereignisse. Die Konzeption und Implementierung basiert auf der in Kapitel 6.2.2.1 vorgestellten Event Processing Engine Esper. Diese ist, wie bereits beschrieben, in der Lage, mehrere hunderttausend Ereignisse pro Sekunde zu verarbeiten, womit NF_A1 erfüllt werden kann. Die Erweiterung um die Konzepte der TILs und TIL-Profile erfolgte im Subsystem „Esper Continuous Processing“ durch Konzeption und Implementierung zweier weiterer Komponenten. Beide greifen hierbei über eine definierte Schnittstelle auf „Esper Query“ zu, um in die Verarbeitungsroutinen von Esper eingreifen zu können. Hierzu werden Statements, repräsentiert in Form der EPL, durch die TIL-Profile und TILs instanziiert. Zur Kommunikation mit externen Komponenten werden eine Input- und eine Outputschnittstelle exponiert. Zur Übertragung und Bereitstellung von Ereignissen wird meist auf etablierte Middleware-Lösungen, wie JMS zurückgegriffen. Eine Konkretisierung erfolgt in Kapitel 6.3.4 mit der Beschreibung des „JMS Ereigniskanal“. Die Schnittstelle JMS-Input setzt hierbei die Nutzung des HL7 Telemedical Event Formats (siehe Kapitel 5.3.3.3) voraus. Die entsprechende XML-Schema-Datei ist im Anhang A4 hinterlegt. Die JMS Output-Schnittstelle erlaubt die Ausgabe eines beliebigen Ereignis-Ausgabeformats über den JMS Ereigniskanal.

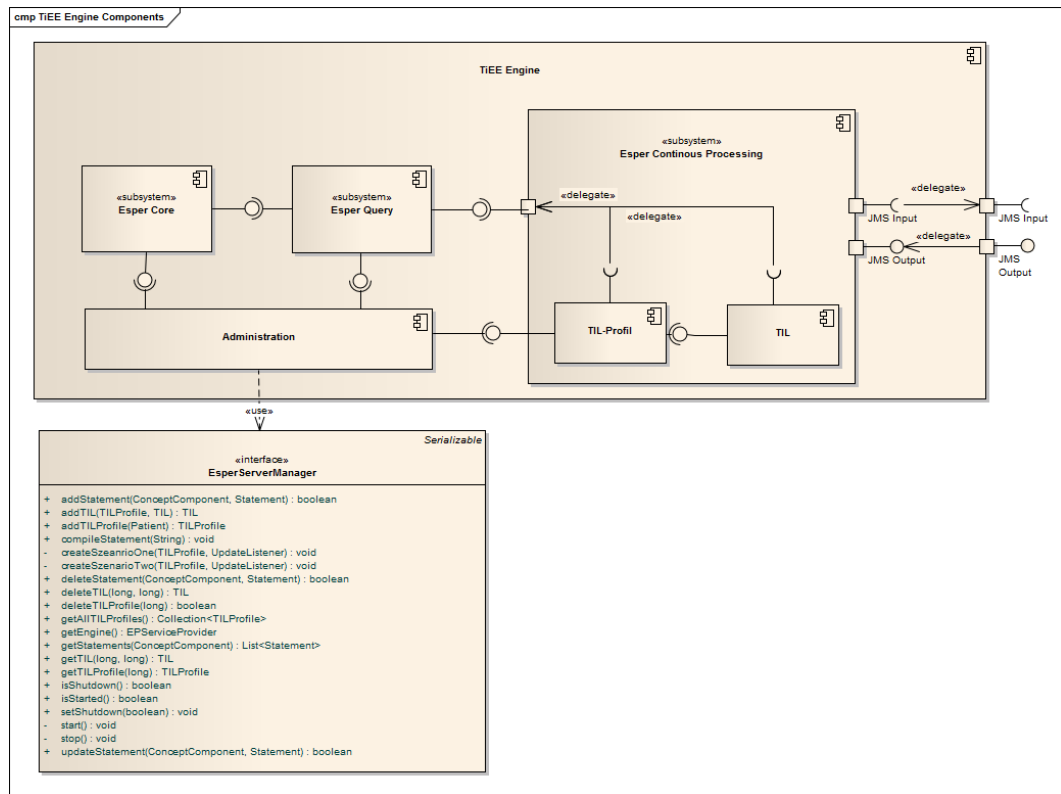


Abbildung 35: Komponentendiagramm der TiEE-Engine.

Zur Administration von TIL-Profilen und TILs wurde mit dem „Esper Server Manager“ ein Interface implementiert, um entsprechende Funktionen externen Komponenten anzubieten. Auf der Gegenseite wird dieses Interface durch die Administrationsschnittstelle (siehe Kapitel 6.3.6) implementiert. Diese wiederum ist über Schnittstellen an Esper Core, Esper Query sowie die TIL-Profilen angebunden.

Nachfolgend wird die softwaretechnologische Konzeption und Implementierung der beiden Komponenten TIL-Profil und TIL detailliert anhand von Klassendiagrammen vorgestellt. Ein vollständiges Objektdiagramm befindet sich im Anhang A6. Eine Übersicht aller relevanten Klassen zur Realisierung der beiden Komponenten befindet sich im Anhang A5. Wesentlich sind:

Tabelle 51: Übersicht und Beschreibung der relevanten Klassen zur Realisierung der Komponenten TIL-Profil und TIL.

Klassenname	Beschreibung
TIL	Die Klasse TIL implementiert sämtliche Funktionen zur Instanziierung und Verwaltung telemedizinischer ILOG Listener. Eine Konkretisierung der Implementierung erfolgt in Kapitel 6.3.2.
TILProfil	Mithilfe der Klasse TILProfil werden sämtliche Funktio-

	nen zur Instanziierung und Verwaltung eben dieser zur Verfügung gestellt. Eine Konkretisierung der Implementierung erfolgt in Kapitel 6.3.3.
ModulManager	Eine Instanz der Klasse ModulManager kapselt elementare Esper Funktionen zur Erstellung und Verwaltung von Statements und Modulen. Zur Vereinfachung der Systempflege sollten logisch zusammenhängende Statements in Modulen gruppiert werden. Dies erlaubt es, mit nur einer Operation z. B. alle in einem Modul befindlichen Statements zu aktivieren bzw. deaktivieren.
ConceptComponent	Die abstrakte Klasse ConceptComponent wurde erweitert in Esper eingeführt und gibt zu implementierende, gemeinsame Basisfunktionen von TIL und TIL-Profilen wieder, die eine Interaktion mit dem ModulManager ermöglichen. Unter anderem wird so eine private Verwaltung von Modulen und Statements durch TIL-Profile und TILs ermöglicht.
UpdateListener	Hierbei handelt es sich um ein Esper eigenes Interface, welches von allen Klassen implementiert werden muss, welche als Reaktion auf die Erfüllung eines Statements ausgeführt werden sollen. Das Interface gibt vor, dass die <i>Update()</i> Methode implementiert werden muss.
Administration und EsperServerManager Interface	Das EsperServerManager Interface ist eine im Rahmen dieser Arbeit getätigte Erweiterung zur Instanziierung der Esper-Engine. Zudem kapselt der Manager Funktionen zur Verwaltung von TIL sowie TIL-Profilen und macht diese nach außen verfügbar. Das Interface wird innerhalb der Komponente „Administration“ implementiert.

6.3.2 TIL

Ein telemedizinischer ILOG Listener ist eine Klasse, bestehend aus den in der nachfolgenden Abbildung 36 aufgezeigten Funktionen. Gemäß der Konzeption eines TIL aus Kapitel 5.4.2 wird dieser instanziiert für einen spezifischen Patienten und verarbeitet Vitalwerte genau eines Vitalwerttypen zur Erkennung von Trends und Emittierung dieser als CTPes. Somit können die folgenden Kernfunktionen identifiziert werden:

Tabelle 52: Übersicht und Beschreibung der relevanten Funktionen eines TILs.

Funktion	Beschreibung
setPES(String)	Die Funktion ordnet einem TIL einen patientenindividuellen Ereignisstrom (PES) zu. Nur so kann ein instanziiertes TIL einem TIL-Profil zur Gewährleistung einer patientenbezogenen Verarbeitung zugeordnet werden.
setVitalSignType(EnumVitalSignType)	Mithilfe dieser Funktion wird der Vitalwerttyp des jeweiligen TILs gesetzt. Respektive wird hierdurch die vitalwertspezifische Filterung beeinflusst. Die möglichen Vitalwerttypen sind

	in Form einer Auflistung vorgegeben und basieren auf den Ausgaben der in Tabelle 53 unterstützten Vitalwertsensoren.
setTrendDetection(AbstractAlgorithm)	Diese Funktion ermöglicht das Setzen des auf die eintreffenden Vitalwerte anzuwendenden Algorithmus. Dieser muss die abstrakte Klasse AbstractAlgorithm implementieren.

Durch Kapselung der wesentlichen Funktionen in Form eines TILs, die Spezialisierung auf einen Vitalwerttypen sowie die Möglichkeit zum Austausch des einzusetzenden Algorithmus, kann Anforderung F_B4 erfüllt werden. Ein TIL wird patientenunspezifisch konfiguriert, jedoch patientenspezifisch instanziiert. Die Realisierung eines TILs auf Basis der EPE Esper erfolgt unter Nutzung der Event Processing Language. Hierzu werden an der EPE sog. Statements registriert welches die Verarbeitung der eintreffenden Events übernimmt.



Abbildung 36: Klassendiagramm zu einem TIL.

Das nachfolgende **Beispiel 2** zeigt den generischen Query zur Registrierung eines TILs (A) unter Nutzung der durch die o.g. Funktionen gesetzten Attribute. Der Query agiert als Filter und ordnet dem jeweiligen TILs nur Ereignisse des Vitalwerttypen `event.vitalSignType` zu. Somit kann den Anforderungen F_B5 und F_B6 Rechnung getragen werden. Hierzu wird ein Beispiel gezeigt, wobei „PatientStream395“ den patientenindividuellen Ereignisstrom repräsentiert und „HEARTRATE“ den Vitalwerttypen Puls.

Beispiel 2: Statement zur Registrierung eines TILs

//A. Generisches Statement für Esper

```
"SELECT * FROM "+ this.getPes() +"(cast(event.vitalSignType, string)='"+this.vitalSignType.toString()+"') "
```

//B. Statement als Beispiel

```
SELECT * FROM PatientStream395(cast(event.vitalSignType, string)='HEARTRATE')
```

Als bald eine Registrierung des TILs erfolgt ist, kann dieser die gefilterten, patientenbezogenen telemedizinischen Ereignisse verarbeiten. Verarbeitung bedeutet, Trends im zeitlichen Verlauf zu erkennen. Zur Erkennung können verschiedenste Algorithmen eingesetzt werden, um der Anforderung F_B2 nachzukommen müssen alle Algorithmen die abstrakte Klasse `AbstractAlgorithm` implementieren.

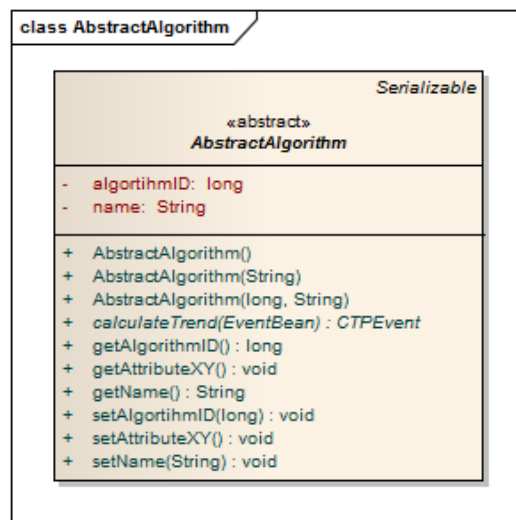


Abbildung 37: Klassendiagramm der abstrakten Klasse `AbstractAlgorithm`.

Mithilfe der Funktion `calculateTrend(EventBean)` wird die Verarbeitung der sich im Ereignisstrom befindlichen telemedizinischen Ereignisse ausgelöst. Das Ergebnis ist, sofern ein Trend erkannt wurde, ein `CTPEvent` gemäß Spezifikation in Tabelle 30. Die Verarbei-

tung der Ereignisse kann es notwendig machen, den Algorithmus über eine Menge von Attributen zu konfigurieren. Ein Beispiel hierfür ist die Angabe von Schwellwerten, wie sie z. B. im Falle des CUSUM-Algorithmus (siehe unten) benötigt werden. Die implementierende Klasse soll eben solche Attribute explizit über getter- und setter-Methoden der Form `getAttributeXY(...)` bzw. `setAttributeXY(...)` zur Verfügung stellen.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurde hierzu initial ein Verfahren von Charbonnier et al. eingesetzt [Cha03, CD08, CBB04], welches Anforderung F_B1 erfüllt. Der Algorithmus ist optimiert zur Verarbeitung kontinuierlicher Werteströme, indem er diese in eine Serie von linearen Funktionen wie folgt aufteilt: Gegeben sei eine affine lineare Funktion der Form $y(t) = p_i(t - t_{0i}) + y_{0i}$. Hierbei ist t_{0i} der Startzeitpunkt, p_i die Steigung und y_{0i} die Ordinate zum Startzeitpunkt. Mithilfe der kumulierten Summe (CUSUM) wird die Abweichung der gemessenen Werte zur linearen Approximation bestimmt. Überschreitet die CUSUM definierte Schwellwerte, wird ein Trendwechsel angenommen.

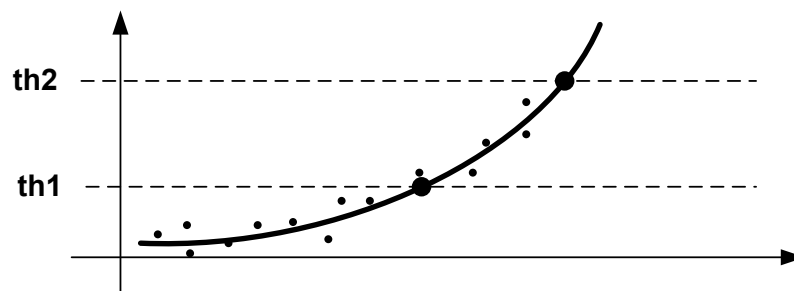


Abbildung 38: Anwendung der Online-Segmentierung nach Charbonnier [Cha03] .

Hierbei werden gemäß Abbildung 38 zwei Schwellwerte benötigt. Der erste Schwellwert ($th1$) definiert den maximalen Fehlerwert. Wird dieser überschritten, so ist die Streuung um bzw. Abweichung von der linearen Approximation so groß, dass diese nicht mehr hinreichend ist. Es wird ein Trendwechsel angenommen. Nachfolgend wird nun ein neues Datenfenster zur Berechnung einer neuen linearen Approximation geöffnet, begrenzt durch den zweiten Schwellwert ($th2$). Wird auch dieser überschritten, wird aus der Menge der Datenpunkte, z. B. durch Anwendung von Methoden der Regressionsanalyse, eine neue optimale lineare Approximation, die Regressionsgerade, berechnet. Ist der zweite Schwellwert klein, so kommt es zu einer häufigen Ausgabe von Trendwechseln, womit auch die Fehlertoleranz abnimmt.

Grundsätzlich ist dieser Algorithmus in der Lage, unter Nutzung eines Feature-Vektors, bei Überschreitung der Schwellwerte die Segmente auf die folgenden Trends abzubilden: increasing, decreasing, positive step, negative step, positive step+slope, negative step+slope, in-

creasing/decreasing transient und decreasing/increasing transient. Aus Sicht von TiEE erfolgt eine Reduzierung der Trends wie in Kapitel 5.6.4.2 beschrieben (Anforderung F_B3). Ein CTPE benötigt lediglich die Trendtypen „fallend“, „steigend“, „Sprung nach oben“, „Sprung nach unten“, „gleichbleibend“. Es ist die Aufgabe der TIL-Profile, die CTPEs weiter zu verarbeiten, indem z. B. zwei steigende Segmente zusammengeführt werden. Charbonnier beschreibt hier eine entsprechende Syntax und Semantik.

6.3.3 TIL-Profile

Auf Basis der konzeptionellen Ergebnisse in Kapitel 5 erfolgte durch Schafer eine implementatorische Ausarbeitung von TIL-Profilen im Rahmen einer durch Meister betreuten Masterarbeit [Sch12]. Die nachfolgende Abbildung 39 gibt einen Überblick über die zur Instanziierung, Konfiguration und Verwaltung von TIL-Profilen bereitgestellten Funktionen gemäß Anforderung F_A7.

Wesentlich, zur Realisierung eines TIL-Profils sind die patientenspezifische Filterung sowie die Reduzierung der durch die im TIL-Profil registrierten TILs zu verarbeitenden Ereignisse. Auf diese Weise muss ein TIL nicht jedes eintreffende Ereignis prüfen, sondern nur solche, die die hinterlegten Filterbedingungen des TIL-Profils erfüllen. Konzeptionell bedarf es somit einer patientenindividuellen Evenstromfilterung, nachfolgend patientenindividueller Ereignisstrom (PES) genannt. Ein PES stellt formal einen Ereignisstrom dar, der sämtliche Ereignisse und Ereignistypen eines Patienten unterstützt und bündelt (Anforderung F_A1, F_A2). Somit handelt es sich um eine bijektive Abbildung zwischen Patient und PES. Zu einem gegebenen Zeitpunkt t_i sind alle PES_k , $k = \{1, \dots, \text{Anzahl der Patienten}\}$, jeweils eine Teilmenge des Gesamtstroms, $PES_k \subseteq \text{GesamtEreignisStrom}$.

Respektive sind alle PES paarweise verschieden, d. h. ein PES gleicht damit keinem anderen, da ein jeder PES auf einen anderen Patienten geprägt wird, $PES_n \neq PES_m \forall n, m$, bei $n \neq m$. Da Esper im Rahmen dieser Arbeit lediglich Ereignisse mit einem Patientenzusammenhang verarbeiten soll und jedem Patient ein eigenes TIL-Profil zugesprochen wird, kann ebenfalls ausgesagt werden, dass alle PES_k zusammen betrachtet den Gesamtereignisstrom von Esper widerspiegeln, $PES_1 \cup PES_2, \dots \cup PES_n = \text{GesamtEreignisStrom}$. Ein PES ist zugleich der Ereignislieferant der TILs, die innerhalb eines Profils existieren. Alle PES können mithilfe einer eindeutigen Bezeichnung unterschieden und identifiziert werden.

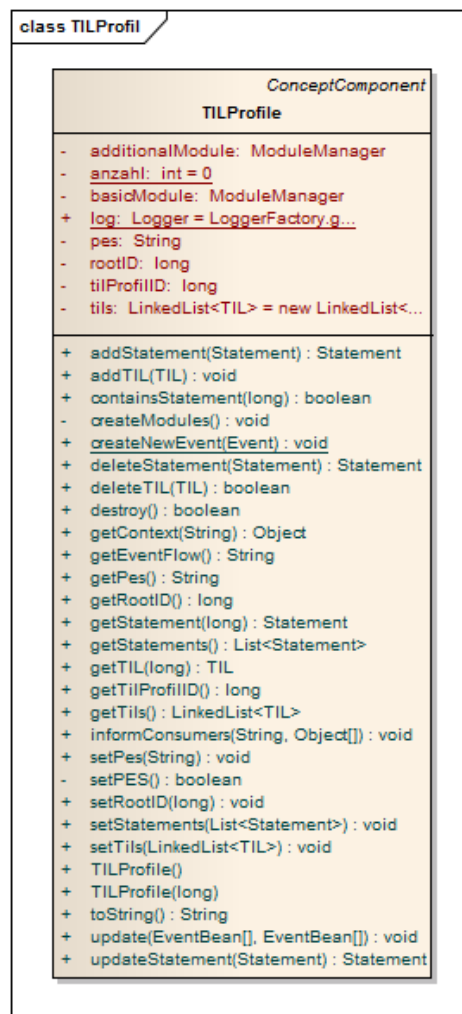


Abbildung 39: Klassendiagramm zu einem TIL-Profil.

Zur Realisierung der patientenindividuellen Ereignisfilterung erfolgt die Nutzung der EPL von Esper wie nachfolgend angegeben. Das nachfolgende **Beispiel 3** zeigt die patientenindividuelle Filterung (A) auf Basis des Attributs *patientID* des telemedizinischen Ereignisses. Eben dieser Query wird als Statement für ein TIL-Profil registriert und in diesem verwaltet. Exemplarisch filtert der nachfolgende Query (B) sämtliche Ereignisse heraus, die nicht vom Typ *telemedicalEvent* sind und keine '2' im Attribut *patientID* aufweisen.

Beispiel 3: Patientenindividuelle Ereignisfilterung

//A. Generisches Statement für Esper

```
SELECT * FROM telemedicalEvent(patientID=?)
```

//B. Generisches Statement für Esper

```
SELECT * FROM telemedicalEvent(patientID='2')
```

Nachdem die Ereignisse anhand der enthaltenen Patientendaten gefiltert wurden, müssen diese nun den TILs für eine weitere Verarbeitung bereitgestellt werden. Dies erfolgt mithilfe eines PES. Hierzu wird die *INSERT INTO* Klausel der EPL genutzt, wodurch innerhalb von Esper ein neuer Ereignisstrom erzeugt wird. Dieser erfüllt die Anforderung A_3 einer selektiven Bereitstellung von Ereignissen an die im TIL-Profil registrierten TILs. Dafür wird das oben bereits aufgeführte Statement um die nachfolgenden Query-Bestandteile erweitert. **Beispiel 4** zeigt die Instanziierung eines neuen Ereignisstroms für einen Patienten mithilfe der *INSERT INTO* Anweisung.

Beispiel 4: Patientenindividuelle Ereignisfilterung

//A. Generisches Statement für Esper

```
INSERT INTO ?
```

```
SELECT * FROM telemedicalEvent(patientID=?)
```

//B. Generisches Statement für Esper

```
INSERT INTO PatientStream1
```

```
SELECT * FROM telemedicalEvent(patientID='2')
```

Wichtig bei der Angabe des Ereignisstroms ist die Eindeutigkeit der Bezeichnung. Es muss dafür Sorge getragen werden, dass keine erstellte Patientenstrombezeichnung einer anderen gleicht. Eine mögliche Lösung ist der Einsatz eines übergreifenden ID-Verwaltungsdienstes. Im Rahmen von TiEE werden hierzu eindeutige UUID generiert und den Ereignisströmen zugewiesen. In einer Erweiterung ist die Nutzung eines sog. Master Patient Index denkbar. Dieser ermöglicht die Bereitstellung eines eineindeutigen Identifiers für einen Patienten und führt hierzu solche aus anderen IT-Systemen in einer zentralen Datenbank zusammen.

Zwei wesentliche Eigenschaften der in Esper üblichen Eventströme kollidieren mit den Anforderungen an eine Verarbeitung auf Basis von TIL und TIL-Profilen:

- Wenn der Ereignisstrom in der *INSERT INTO* Klausel explizite Attributbezeichnungen eines Ereignisses enthält, muss die Anzahl der Bezeichnungen mit der Anzahl der Elemente aus der *SELECT* Klausel übereinstimmen.
- Wurde ein Ereignisstrom bereits durch ein vorheriges Statement definiert und die Ereignisattributbezeichnungen und/oder Ereignistypen stimmen nicht überein, dann wird eine Fehlermeldung erzeugt.

Durch die zweite Beschränkung wird deutlich, dass jeder Ereignisstrom nur einen Ereignistypen unterstützen kann.

Die Lösung für dieses Problem sind sog. „Variant Streams“. Dieser besondere Ereignisstrom ist dazu in der Lage, unterschiedlichste Ereignistypen zusammenzuführen und kann wie ein normaler Ereignisstrom in der `INSERT INTO` Klausel verwendet werden. Die beiden Ereignisströme unterscheiden sich, abgesehen von der nicht existierenden Ereignistypbeschränkung, nur hinsichtlich der Erstellung. Während ein normaler Ereignisstrom automatisch von Esper erstellt wird, muss ein „Variant Stream“ manuell bekanntgegeben werden. Diesbezüglich hält Esper zwei Varianten bereit. Zum einen kann ein Variant Stream in der Konfiguration hinzugefügt und zum anderen mithilfe eines EPL-Statements erstellt werden. Vor dem Start von Esper muss die zu unterstützende Patientenanzahl nicht genau bekannt sein, da beide Varianten jederzeit ein weiteres Hinzufügen von Variant Streams und damit von PES erlauben. Dies ist ein großer Vorteil, da eine mögliche Fluktuation von Patienten keine Probleme bereiten wird.

Ebenfalls zu betrachten ist der Lebenszyklus eines Variant Streams in Esper. Diesbezüglich ist die Art der Erstellung entscheidend. Wird ein solcher Stream in der Konfiguration einer Esper-Instanz hinzugefügt, ist er fortwährend verfügbar, bis er manuell aus der Konfiguration entfernt oder die Instanz gelöscht wird. Wird ein Variant Stream mithilfe der EPL bzw. mit dem eigenständigen Befehl `CREATE VARIANT SCHEMA` erzeugt, entfernt die Engine-Instanz diesen automatisch, sobald keine laufenden Statements auf diesen Strom verweisen. Zu diesen Statements zählt ebenso das Statement, das diesen Variant Strom erzeugt hat. Es wird die letzte Variante zur Erzeugung eines Variant Streams favorisiert, da dieser sonst manuell aus der Konfiguration entfernt werden muss. Dies kann zu Fehlern führen, falls nicht sämtliche referenzierte Statements entfernt werden. Die automatische Prüfung und Löschung soll daher der Esper-Instanz obliegen. Weitere Begrenzungen zu einem Variant Stream, wie eine maximale Anzahl an Strömen, können in der Esper-Referenz nicht gefunden werden.

Durch den durch das TIL-Profil erzeugten und verwalteten PES werden somit sämtliche das Profil betreffenden Ereignisse geleitet. Dies umfasst telemedizinische Ereignisse und CTPEs. Nachfolgend obliegt es dem Profil, die durch die TILs erzeugten CTPEs zu höherwertigen Informationen, auf Basis der Bedarfsformalisierung in Kapitel 5.6.5.1, zu aggregieren. Hierzu werden die Bedingungen und Aktivitäten des Bedarfsprofils in Statements, wie im nachfolgenden Beispiel angegeben, überführt (Anforderungen `F_A4`, `F_A5`).

Beispiel 5: Statement zur Verarbeitung von CTPEs

```
"SELECT * " + "FROM PATTERN[EVERY  
a=CTPE(vitalSignType=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN) ->  
b=CTPE(vitalSignType=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN)] "  
+"WHERE a.increase="Signifikant erhöht" AND  
b.increase="Signifikant vermindert" AND a.patientID="+  
profile.getRootID()+" AND b.patientID="+profile.getRootID(), new
```

```
Activity1();
```

Als bald die Bedingungen eines solchen Statements erfüllt werden, wird eine Aktivität ausgelöst. Hierbei handelt es sich um eine Implementierung der abstrakten Klasse `AbstractActivity` (siehe Abbildung 40). Diese wiederum basiert auf **Spezifikation 2**.

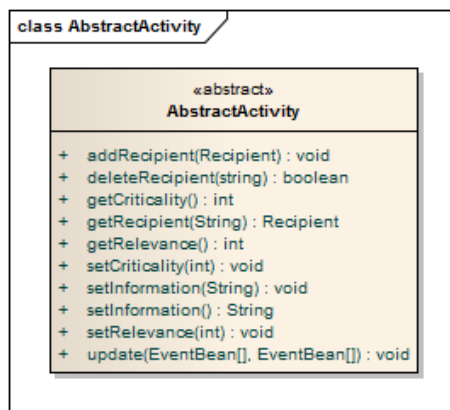


Abbildung 40: Klassendiagramm der abstrakten Klasse `AbstractActivity`.

6.3.4 Ereigniskanal

Zum Transport von Ereignissen entlang der im Verteilungsdiagramm gezeigten Systemkomponenten, bedarf es eines Kommunikationskanals. Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt hierzu das Komponentenmodell des JMS-basierten Ereigniskanal.

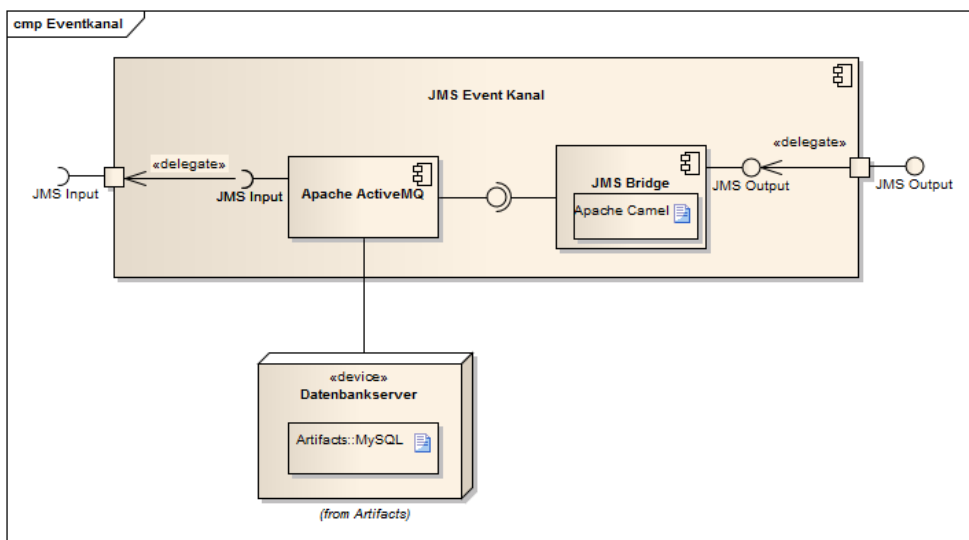


Abbildung 41: Komponentenmodell des JMS-basierten Ereigniskanal.

Der Datenfluss durch den Ereigniskanal erfolgt von links nach rechts. Hierzu stellt die Komponente ein JMS Input Interface zur Verfügung, um Nachrichten über einen JMS-basierten Kanal zu transportieren. Hierzu erfolgt die Nutzung von Apache ActiveMQ, einem JMS-Provider. Über diesen kann eine stabile und gegenüber Ausfällen geschützte Verbindung bereitgestellt werden. Hierzu wird Apache Active MQ an einen Datenbankserver angeschlossen, um im Falle von Verzögerungen in der Verarbeitung durch die TiEE-Engine oder aber einem Ausfall die eintreffenden Ereignisse zwischenspeichern zu können (nichtfunktionale Anforderung NF_A2). Des Weiteren dient der Datenbankserver der Speicherung von Protokolldaten zum Zweck der Nachverfolgung (Anforderung F_F1). Da aus Datenschutzaspekten sowie aus Performanceaspekten keine vollständige Speicherung von Ereignissen erfolgen kann, wird die jeweilige eindeutige Event-ID zusammen mit einem Eingangs- und Ausgangszeitstempel als Hash-Wert gespeichert. Die im Rahmen der Arbeit eingesetzte Datenbank, laufend auf dem Datenbankserver, ist MySQL.

Zur Erhöhung der Datensicherheit ist dieser Kanal SSL-verschlüsselt und kommt so der nichtfunktionalen Anforderung NF_C1 nach. Die Weiterleitung zum JMS Output Interface erfolgt unter Nutzung der JMS-Bridge, basierend auf Apache Camel. Diese ermöglicht ein Routing des jeweiligen Apache ActiveMQ Outputkanals.

6.3.5 Health Device Gateway

Zur Ermöglichung einer Verarbeitung von Vitalwerten bedarf es einer Komponente zur Anbindung von Vitalwertsensoren. Aus technologischer Sicht existieren verschiedene kabelgebundene sowie drahtlose Kommunikationstechnologien zur Übertragung von Sensordaten. Bluetooth hat sich im Bereich der drahtlosen Kommunikation als dominierender Standard bei den Herstellern etabliert. Es handelt sich hierbei um einen Industriestandard gemäß IEEE 802.15.1, entwickelt in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts und mittlerweile in der Version 4.0 vorliegend. Mithilfe sog. Profile werden, aufbauend auf dem Bluetooth Basisstandard, weitere Anforderungen entlang verschiedener Einsatzgebiete abgebildet. Im medizinischen Bereich finden insbesondere das Health Device Profile (HDP) und das Serial Port Profil (SPP) weite Verbreitung. Ersteres definiert spezielle Anforderungen an die Datensicherheit bei der Kommunikation und besitzt besondere Energiesparroutinen. Das SPP wiederum ist ein Basisprotokoll zur Simulation eines seriellen Ports. So übertragene Daten zeichnen sich durch einen besonders einfachen Aufbau aus. Das Health Device Gateway setzt aus den oben genannten Gründen auf Bluetooth, unter Berücksichtigung von SPP und HDP sowie IEEE 11073 (Anforderung F_D1; nichtfunktionale Anforderungen NF_D2, NF_D3).

Das Komponentenmodell in Abbildung 42 zeigt den strukturellen Aufbau des HDGs.

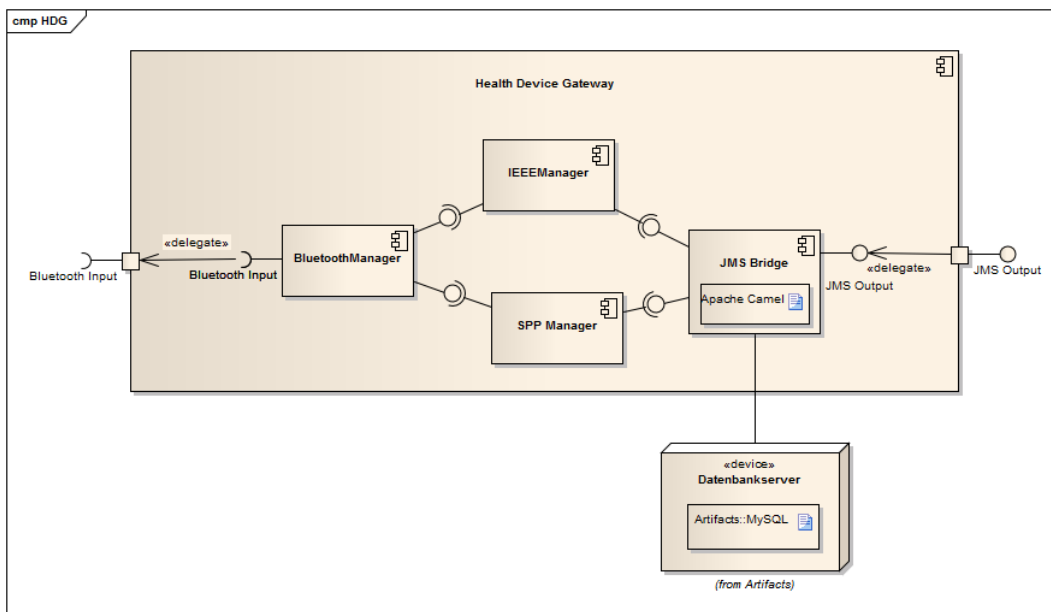


Abbildung 42: Komponentenmodell des Health Device Gateways.

Der Datenfluss erfolgt von links nach rechts, wobei das HDG aus den folgenden vier Subkomponenten besteht:

- **BluetoothManager**: Hierbei handelt es sich um einen Bluetooth Stack, welcher die beiden Profile HDP und SPP unterstützt. Er übernimmt die Verwaltung der angebotenen Geräte. Die einzusetzende Implementierung ist abhängig vom Betriebssystem. So unterstützt der Standard Bluetooth Stack von Windows kein HDP. Im Linux-Umfeld wiederum hat sich der BlueZ Stack durchgesetzt. Im Rahmen von TiEE wird der Stollmann Bluetooth USB Dongle eingesetzt, welcher über einen virtuellen COM-Port angesprochen werden kann. Dieser kann an Windows- wie auch Linux-Betriebssystemen betrieben werden.
- **IEEEManager**: Bereits in Kapitel 5.3.3.2 wurde der Standard IEEE 11073 vorgestellt. Aufgabe des **IEEEManager** ist es, die auf Basis von Bluetooth HDP transportierten und entsprechend des IEEE 11073 DIM formatierten Daten entgegenzunehmen und zu interpretieren.
- **SPP Manager**: Sofern die eingesetzten Geräte nicht Bluetooth HDP fähig sind, können diese über SPP angebunden werden. Hierzu bedarf es einer Implementierung von Interpretern zur Entgegennahme der zumeist proprietär formatierten Daten.
- **JMS Bridge**: Basierend auf Apache Camel wurde eine Brücke zum Transport der eintreffenden Vitalwerte über einen JMS-Kanal realisiert. Neben der Ausgabe über JMS obliegt der Bridge die Transformationen der aus den Modulen SPP Manager und IEEE Manager interpretierten Daten in das HL7 Telemedical Event Format (Anforderung F_D2,

F_D3). Zur Realisierung einer infrastrukturübergreifenden Verarbeitung erfolgt eine Anreicherung der Vitalwertdaten mit weiteren Parametern. Hierzu ist die Bridge an einen Datenbankserver angebunden.

Die erste Implementierung des HDG im Rahmen dieser Arbeit unterstützt die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Sensoren. Respektive können die vier Vitalwerttypen Gewicht, Blutdruck, Puls und Sauerstoffsättigung erfasst werden.

Tabelle 53: Übersicht über die unterstützten Vitalwertsensoren

Firma	Typbezeichnung	Protokolle	Vitalwerttypen
Nonin	Onyx II Model 9560	SPP, HDP (CHA Compliant)	Sauerstoffsättigung, Puls
Nonin	WristOx ₂ Model 3150	SPP, HDP (CHA Compliant)	Sauerstoffsättigung, Puls
A&D	UA-767PBT-C	SPP, HDP (CHA Compliant)	Blutdruck, Puls
A&D	UC-321PBT-C	SPP, HDP (CHA Compliant)	Gewicht
Beurer	CHA Blutdruckmessgerät	HDP (CHA Compliant)	Blutdruck, Puls
Beurer	CHA Waage	HDP (CHA Compliant)	Gewicht

6.3.6 Administrationsschnittstelle

Die Administrationsschnittstelle stellt Funktionen zur Administration von TILs und TIL-Profilen zur Verfügung. Die wesentlichen Funktionen sind in der nachfolgenden Tabelle 54 abgebildet.

Tabelle 54: Auflistung der relevanten Administrationsfunktionen.

Funktions-ID	UC	Beschreibung
FK_A1	UC1	Hinzufügen von TILs
FK_A2	UC2	Entfernung eines Profils
FK_A3	UC3	Profil suchen und anzeigen
FK_A4	UC4	Statements erstellen und hinzufügen
FK_A5	UC5	Statements anzeigen, ändern und entfernen
FK_A6	UC6	TILs anzeigen
FK_A7	UC7	TIL erstellen
FK_A8	UC8	TIL bearbeiten und entfernen

Die Funktionen wurden abgeleitet aus den in der Tabelle 55 beschriebenen Use Cases.

Tabelle 55: Use Cases zur Administration von TILs und TIL-Profilen.

UC1	Neues TIL-Profil erstellen
Die Erstellung eines TIL-Profiles ist untrennbar mit der Erstellung eines Patientenobjek-	

<p>tes verknüpft. Als gemeinsame Identifizierung der beiden Objekte soll daher eine eigene ID, bspw. ein Master Patient Index (MPI), vergeben werden. Damit ein Profil später nicht nur anhand eines MPIs ermittelt werden kann, sollen zu jedem Patienten demografische Daten (Name, Vorname, Geburtsdatum, Geburtsort und Anschrift) erhoben werden. Über diese Eingabe soll auch direkt geprüft werden, ob dieser Patient bereits im System enthalten ist. Für die Erstellung eines TIL-Profiles sind keine weiteren Informationen notwendig. Den beiden Objekten wird nach dem erfolgreichen Erstellen automatisch eine gemeinsame Root-ID zugewiesen, die vom Benutzer zu bestätigen ist. Die Angabe einer Root-ID soll später für eine nachträgliche Modifizierung des TIL-Profiles und seiner Subelemente verwendet werden können.</p>	
UC2	TIL-Profil entfernen
<p>Das Entfernen eines TIL-Profiles schließt die restlose Entfernung sämtlicher Komponenten mit ein, die mit dem zu löschenden Profil in direkter Verbindung stehen. Vor dem effektiven Entfernen muss der Akteur auf die bevorstehende und dauerhafte Entfernung hingewiesen werden und bestätigen.</p>	
UC3	TIL-Profil suchen und anzeigen
<p>Sollte die eindeutige Root-ID zu einem Profil oder Patienten nicht vorliegen, kann stattdessen mithilfe der demografischen Daten eines Patienten nach einem TIL-Profil bzw. Patienten gesucht werden. Als Ergebnis einer Suche wird eine Menge von Patienten zurückgegeben, welche wiederum genutzt werden können, um TIL-Profile zu identifizieren.</p>	
UC4	Statements erstellen und hinzufügen
<p>Kann ein Statement erfolgreich hinzugefügt werden, muss dies dem Benutzer auf geeignete Art und Weise mitgeteilt werden. Ist ein Hinzufügen erfolglos, muss dem Akteur eine aussagekräftige Information über den aufgetretenen Fehler angezeigt werden. Dabei muss zwischen Syntaxfehlern und einem Systemfehlern unterschieden werden. Ebenso muss zwischen einer Statementerstellung für ein TIL-Profil und ein TIL unterschieden werden. Da ein TIL nur auf einen speziellen Vitalwerttypen reagieren soll, muss diese Bedingung als fester Bestandteil in die Statementerstellung einfließen. Um medizinisch korrekte Statements verfassen zu können, ist jedoch ärztliche Expertise notwendig.</p>	
UC5	Statements anzeigen, ändern und entfernen
<p>Als Bedingung für das Anzeigen von Statements ist die Angabe eines TILs oder Profils notwendig. Nur mittels dieser Information können vorhandene Statements ermittelt werden. Ein effektives Ändern eines bereits vorhandenen Statements sollte aktiv vom Akteur bestätigt werden müssen. Dies gilt ebenfalls für das Entfernen eines Statements. Auch hier gilt, dass vor dem effektiven Entfernen eine Bestätigung eingeholt werden muss.</p>	
UC6	TIL anzeigen
<p>Da kein TIL ohne ein übergeordnetes Profil existieren darf, muss zuvor ein TIL-Profil ausgewählt werden. Wurde diese Bedingung erfüllt, können sämtliche TILs des Profils ermittelt werden. Wird nun ein einzelner TIL ausgewählt, werden alle Metainformation (ID, Vitalwerttyp, Erstellungszeitpunkt, Ersteller, letzte Änderung, verarbeitete Ereignisse, Anzahl Statements) angezeigt.</p>	
UC7	TIL erstellen
<p>Jeder TIL benötigt einen Vitalwerttypen, die Angabe eines TIL-Profiles als übergeordnete</p>	

<p>Instanz sowie die Zuweisung eines Auswertungsalgorithmus. Auszuwählen sind diese bei der Erstellung bspw. über DropDown-Listen. Anzustreben ist die Bereitstellung möglicher Vitalwerttypen und der Algorithmen aus einem Ontologie- oder Terminologie-Server heraus.</p>	
UC8	TIL bearbeiten und entfernen
<p>TILs können nachträglich hinsichtlich des Vitalwerttyps, der Statements und des statistischen Verarbeitungsalgorithmus abgeändert werden. Je nach Bearbeitung müssen unterschiedlich viele Metainformationen aktualisiert werden. Auch beim Entfernen dieser Komponente muss der Akteur auf das kaskadierte Entfernen aller enthaltenen Statements hingewiesen und zu einer aktiven Zustimmung aufgefordert werden.</p>	

Zur Bereitstellung der oben genannten Funktionen wurde, wie im nachfolgenden Komponentenmodell in Abbildung 43 ersichtlich, ein Interface, genannt TiEE-Administration, spezifiziert. Die Implementierung des Interfaces im Rahmen von TiEE erfolgte auf Basis von RESTful Webservices. Die Webservices laufen in einem Glassfish Application Server. Die Ansprache der Webservices geschieht über eine auf Vaadin-basierenden Oberfläche. Das zweite Interface, genannt Esper Server Manager, spezifiziert die durch eine Implementierung des TiEE Administration Interface zu nutzenden Funktionen. Eine Implementierung des Esper Server Manager Interfaces erfolgt durch das TIL-Profil, wie in Kapitel 6.3.1 gezeigt.

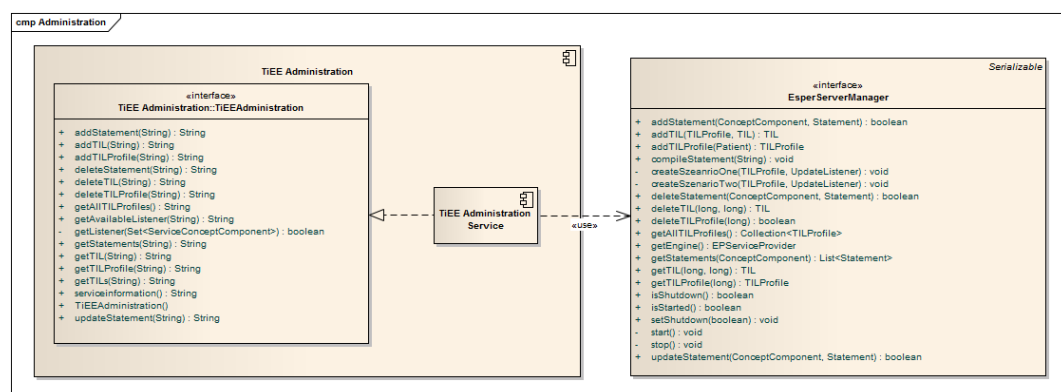


Abbildung 43: Komponentenmodell der Administrationsschnittstelle.

Nachfolgend ist die Oberfläche zur Administration von TIL- und TIL-Profilen abgebildet. Hierbei wurden die oben benannten Use Cases und Anforderungen umgesetzt.

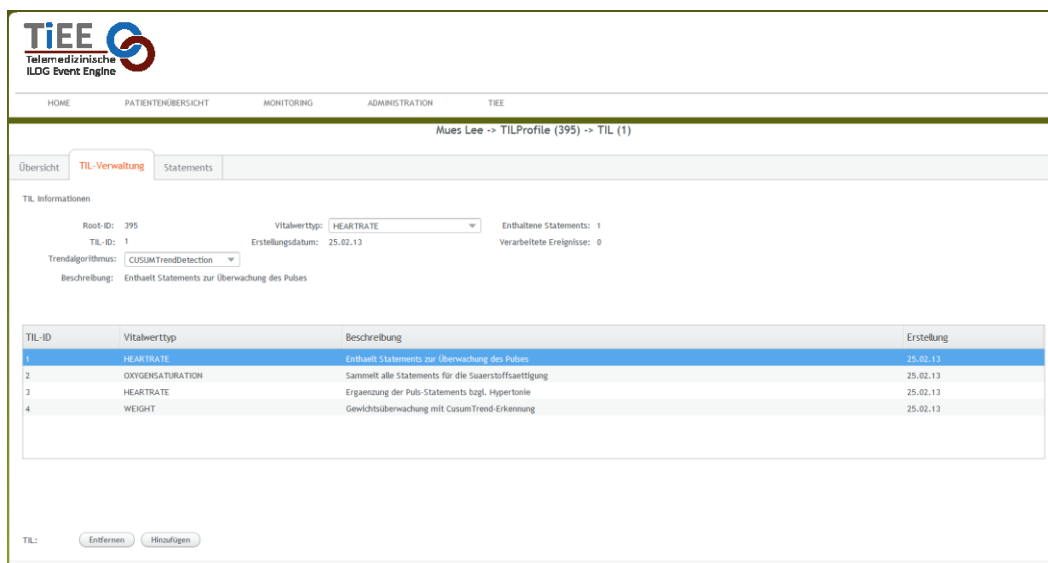


Abbildung 44: TiEE-Administrationsoberfläche.

6.4 Weiterentwicklungsmöglichkeiten

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine erste Implementierung der entwickelten Konzepte getätigt. Im Verlauf des Entwicklungsprozesses ergaben sich Bedarfe zur Konzeption und Implementierung weiterer Komponenten bzw. Erweiterung existierender. Nachfolgend werden die wesentlichen Bedarfe beschrieben.

6.4.1 Bedarfsmodellierung

Die Erstellung von Statements auf Textbasis erfordert einen Experten der im Umgang mit der EPL-Syntax geschult ist. Als Alternative sollte die Bedarfsmodellierung visuell unterstützt werden. Idealerweise kann dieses Werkzeug in die TiEE-Administration eingepflegt werden. Um dies erfüllen zu können, muss das Werkzeug als Vaadin-Komponente erstellt und eingebunden werden.

Es wurden zwei verschiedene Addons von Vaadin ermittelt, die eventuell für eine Wiederverwendung in Frage kommen:

1. <https://vaadin.com/directory#addon/graph-explorer>
2. <https://vaadin.com/directory#addon/nodegraphwidget>

Das Ergebnis einer visuellen Bedarfsmodellierung soll eine XML-Datei sein und muss der vorgegebenen Schemadatei entsprechen. Diese dient als Austauschmedium von Bedarfen mit dem Modul TiEE. Wird ein Bedarf und damit eine XML-Datei übertragen, wird eine Trans-

formierung dieser auf die TiEE Konzepte angestoßen. Nach der Transformierung können so mehrere neue Statements entstehen, die in TiEE eingetragen werden können und ebenfalls für ein größeres Informationsangebot sorgen.

6.4.2 TIL-Repository

Im Hinblick auf eine Wiederverwendung von bereits erstellten TILs kann ein TIL-Repository aufgebaut werden. Der Grund liegt in der Vielzahl von möglichen Algorithmen, die für eine Trenderkennung eingesetzt werden können, und deren individueller Parametrierung. Ein TIL-Repository sollte daher TILs enthalten, die ein nachgewiesenes gutes Zusammenspiel zwischen dem zu Grunde liegenden Vitalwerttypen und dem Algorithmus ermöglichen. Vor allem die Instanziierung des Algorithmus und dessen Parametern kann eine effizientere Trenderkennung bedeuten. Dieses Wissen könnte als separate TIL-Vorlage in einem Repository hinterlegt werden. Jede TIL-Vorlage muss sich immer auf einen Vitalwerttypen beziehen, einen Algorithmus mit dessen Initialparametern besitzen sowie eine zusätzliche Beschreibung. Da mehrere TILs zu einem Vitalwerttypen hinterlegt werden könnten, kann mit der zusätzlichen Beschreibung darauf verwiesen werden, wozu sich dieser TIL besonders eignet.

6.4.3 ILOG Intelligent Notification (IIN)

Das IIN empfängt Informationen und ermittelt Empfänger, die diese Informationen benötigen. Intern kann diesbezüglich ein Mapping zwischen Bedarfen und Konsumenten erstellt werden. Bei diesem Mapping werden zusätzlich für jeden Eintrag der Kommunikationskanal sowie die Delay-Zeit angegeben, mit der eine Mitteilung initiiert werden soll.

Da sich Bedarfe über einen gewissen Zeitraum ändern können, müssen Dienste bereitgestellt werden, die eine Verwaltung des Informationsangebots ermöglichen.

6.5 Zusammenfassung

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die in Kapitel 5 konzipierten Basisbausteine zur Realisierung einer informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten auf Basis des CEPs implementiert. Zu Beginn wurde die TiEE-Basisarchitektur, bestehend aus der TiEE-Engine, dem Ereigniskanal, der Administrationsschnittstelle und dem Health Device Gateway, vorgestellt. Um den wesentlichen Anforderungen einer hohen Modularisierung und Flexibilisierung nachzukommen, wurden wesentliche Infrastrukturkomponenten von TiEE auf verschiedene Serversysteme verteilt. Dies erlaubt, unter Berücksichtigung von Redundanz, eine einfache Skalierung und Wartung eben dieser, ohne das Gesamtsystem zu beeinträchtigen.

Kapitel 6: TiEE - Die Telemedizinische ILOG Event Engine: Nachweis zur Realisierbarkeit der konzipierten ILOG-Engine

Die TiEE-Engine, das Kernstück von TiEE, wurde basierend auf Esper konzipiert und implementiert. Hierzu erfolgte eine Erweiterung der Komponente Continuous Processing um TIL und TIL-Profilen. Mithilfe von UML wurden die wesentlichen Komponenten und Klassen modelliert.

Das Kapitel schließt mit einer Übersicht von Komponenten, welche im Sinne einer Weiterentwicklung zu berücksichtigen sind ab. Im Fokus stehen hier die Bedarfsmodellierung mithilfe eines grafischen Editors sowie der Aufbau eines Repositories zur Verwaltung von TILs.

7 Umsetzung und Evaluation der Use Cases auf Basis von TiEE

7.1 Einleitung

Mit TiEE, der telemedizinischen ILOG Event Engine, steht eine Implementierung zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten zur Verfügung. Im Rahmen dieses Kapitels gilt es, die in Kapitel 5 entwickelten Konzepte, unter Nutzung der TiEE-Implementierung und unter Berücksichtigung von im nachfolgenden zu formulierenden Evaluationszielen, zu evaluieren. Hierzu werden zu Beginn die in Kapitel 2.4 definierten Use Cases auf der TiEE-Infrastruktur instanziiert. Dies umfasst die Erstellung von TIL sowie TIL-Profilen, welche wiederum eine Bedarfsformalisierung voraussetzen.

Anhand der instanziierten Use Cases wird die Erreichung der Evaluationsziele bewertet. Die Bewertung umfasst insbesondere die Beschreibung von Chancen und Risiken bzw. Möglichkeiten und Grenzen der bisher getätigten konzeptionellen und implementatorischen Arbeiten.

7.2 Umsetzung der Use Cases

Die Evaluation der zuvor beschriebenen Konzepte unter Nutzung von TiEE erfolgt gemäß Abbildung 45 entlang der in Kapitel 2.4 definierten Use Cases.

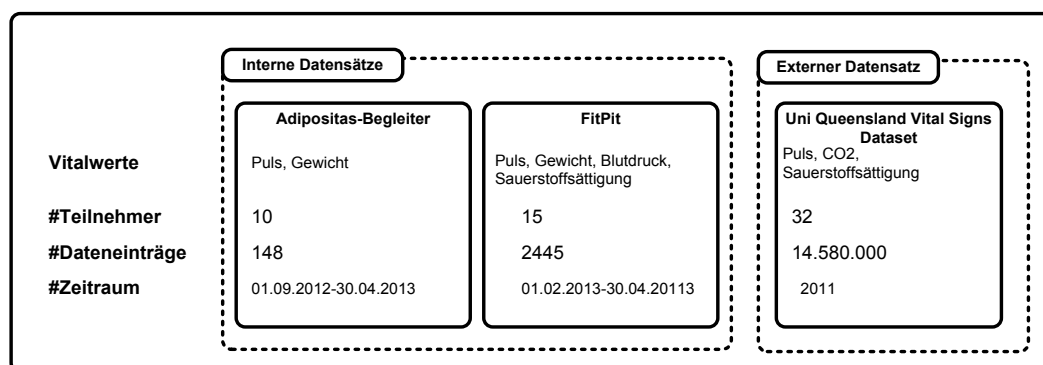


Abbildung 45: Evaluationsaufbau.

Insgesamt liegen somit drei Datensätze vor, wobei zwei dieser aus internen Projekten stammen und der dritte Datensatz aus einer externen Quelle. Die Daten liegen in persistierter Form vor und können so durch entsprechende Simulationsverfahren an TiEE gesendet werden. Die Simulation ermöglicht die Bewertung der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen.

Nachfolgend sollen die Evaluationsziele sowie der Evaluationsaufbau für die einzelnen Use Cases detailliert vorgestellt werden.

7.2.1 Evaluationsziele

Im Verlauf der Arbeit konnte gezeigt werden, dass mithilfe des Complex Event Processings Konzepte zur informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten aufgebaut werden können. Des Weiteren wurde mit TiEE die Realisierbarkeit eben dieser Konzepte nachgewiesen. Die hier abschließende Evaluation verfolgt somit die nachfolgend benannten Ziele:

- Evaluationsziel 1: Nachweis der Abbildbarkeit von konkreten telemedizinischen Fragestellungen mithilfe der entwickelten Konzepte, basierend auf den definierten Use Cases. Dies impliziert:
 - a. Zu zeigen, dass mithilfe existierender Algorithmen eine Erkennung von Trends und Darstellung dieser als komplexe CTPEs möglich ist.
 - b. Nachzuweisen, dass durch die entwickelten Konzepte Informationen auf Basis der erkannten CTPEs generiert werden können.
- Evaluationsziel 2: Nachweis der Minimierung des Aufwands zur Bereitstellung von Analysemethoden bei einer gegebenen Fragestellung. Dies bedeutet:
 - a. Minimierung des Gesamtimplementierungsaufwands zur Bereitstellung einer Analyseinfrastruktur. Eine solche Implementierung inkludiert hierbei sämtliche Infrastrukturkomponenten, wie z. B. Schnittstellen, Datenspeicher, Middleware-Komponenten, die zum Transport und der Verarbeitung von Daten und Informationen notwendig sind.
 - b. Minimierung der notwendigen Anpassungen eines Algorithmus zur Nutzung eben dieses in verschiedenen Use Cases.
 - c. Maximierung der Modularisierung und Flexibilisierung einmal entwickelter Analysemethoden.
- Evaluationsziel 3: Nachweis der Stabilität und Robustheit des Systems bei verschiedenen Datenmengen. Dies umfasst:
 - a. Last- und Performancetests: Zwar liegen diese für Esper vor jedoch ohne Berücksichtigung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepte.
 - b. Zuverlässigkeit, Effizienz und Stabilität: Im Vordergrund stehen hier Antwort- und Verarbeitungszeiten sowie Durchsatz bei der Funktionsausführung und ebenso die Wahrscheinlichkeit für unerwartete Wirkungen.
- Evaluationsziel 4: Aufzeigen von die Chancen und Risiken bzw. Möglichkeiten und Grenzen der Verarbeitung von telemedizinischen Ereignissen. Anknüpfend an Evaluationsziel 1 bedeutet dies insbesondere, Limitierungen der Mächtigkeit der eingesetzten formalen Konstrukte aufzuzeigen.

Es ist somit kein Evaluationsziel dieser Arbeit den Nachweis der medizinischen Evidenz getroffener Aussagen bzw. der fachlichen Korrektheit zu führen. Hierzu bedarf es klinischer Studien, die sich aber nicht auf die Kernthese dieser Arbeit beziehen.

7.2.2 Vorgehen zur Umsetzung der Use Cases

Auf Basis der im Verlauf des Kapitels 6 beschriebenen Implementierung der telemedizinischen ILOG Event Engine TiEE, werden im nachfolgenden die in Kapitel 2.4 vorgestellten Use Cases umgesetzt. Das Vorgehen erfolgt dabei entlang der nachfolgend skizzierten Schritte:

1. **Bedarfsformalisierung:** Zur Formalisierung des Informationsbedarfs bedarf es einer Darstellung und Abbildung des fachlichen Entscheidungsprozesses zur Bewertung der eintreffenden Vitalwerte. Hierzu wird die Bedarfsmodellierung, wie in Kapitel 5.6.5.1 beschrieben, eingesetzt. Anschließend wird der so visualisierte Bedarf zur Instanziierung von TIL-Profilen und den darin benötigten TILs eingesetzt.
2. **Instanziierung eines TIL-Profiles:** Die Erstellung eines TIL-Profiles bedeutet:
 - a. eine neue Instanz der Klasse `TILProfil` zu erstellen.
 - b. eine Menge von TILs zur Verarbeitung der zu verarbeitenden Vitalwerttypen zu registrieren.
 - c. auf Basis des modellierten Informationsbedarfs, Statements in dem instanziierten TIL-Profil hinzuzufügen, um die eintreffenden CTPEs zu verarbeiten.
3. **Instanziierung von TILs:** Die Erstellung eines TILs umfasst:
 - a. die Erstellung einer neuen Instanz der Klasse `TIL`.
 - b. die Anlage einer neuen Instanz eines Algorithmus zur Trenderkennung sowie Konfiguration eben dieses.
 - c. die Konfiguration der TIL-Instanz, indem der zu verarbeitende Vitalwerttyp festgelegt und der zu nutzende Algorithmus registriert werden.

Fasst man die in Abbildung 45 genannten Vitalwerttypen zusammen, so müssen TILs für den Puls, das Gewicht, die Sauerstoffsättigung, den endtidalen CO₂ sowie den Blutdruck umgesetzt werden. Im Folgenden sollen diese Vitalwerttypen sowie existierende Klassifikationen vorgestellt werden:

- **Blutdruck:** Der Blutdruck gibt den Gefäßdruck des Blutes an. Hierbei unterscheidet man in einen systolischen und einen diastolischen Anteil, gemessen in mm Hg. Die Trendabstraktion des Blutdrucks kann entlang der WHO-Klassifikation [WW03] erfolgen. Diese unterteilt den Blutdruck in die Klassen optimal, normal, hochnormal, Hypertonie Grad 1, Hypertonie Grad 2 und Hypertonie Grad 3. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Einstellung eines Patienten auf einen optimalen oder normalen Blutdruck nicht immer möglich bzw. sinnvoll ist. Aus Sicht der Trendabstraktion kann hier eine patientenspezifische Anpassung der Grenzen erfolgen und auf die Trendabstraktionsklassen angewendet werden.
- **Puls:** Der Puls, als Synonym für die Herzfrequenz, gibt die Anzahl der Herzinteraktionen pro Minute an. Der Normbereich des Pulses ist definiert über den Wertebereich 60-80

Schläge pro Minute. Der Ruhepuls variiert über die einzelnen Lebensabschnitte hinweg. Aus Sicht der Medizin bezeichnet man einen Puls $< 60/\text{Min.}$ als Bradykardie und $> 100/\text{Min.}$ als Tachykardie. Der Puls kann jedoch durch Krankheit oder auch durch regelmäßige sportliche Betätigung deutlich beeinflusst sein [LWML02]. Mithilfe der Karvonen-Formel oder auch der Formel nach Lagerström kann der optimale Trainingspuls berechnet werden [HS09]. Respektive muss die Trendabstraktion selber oder aber die Bewertung der abstrahierten Werte unter Berücksichtigung des gesundheitlichen und sportlichen Hintergrunds erfolgen.

- **Gewicht:** Die Angabe der physikalischen Masse eines Lebewesens erfolgt üblicherweise über das Gewicht in Kilogramm (kg). Das Gewicht wird, gemäß den Vorgaben der WHO [Wor00, Wor13] zur Einstufung eben dieses unter Nutzung des Body Mass Index (BMI) abstrahiert. Unterschieden werden Untergewicht, Normalgewicht, Übergewicht und Adipositas.
- **Sauerstoffsättigung:** Die Sauerstoffsättigung gibt an, zu welchem Prozentanteil das Hämoglobin im Blut mit Sauerstoff gesättigt ist. Chronische Erkrankungen wie COPD, Mukoviszidose oder auch andere Parameter wie das Alter können den Sauerstoffsättigungsanteil dauerhaft beeinflussen und sollten bei der Trendabstraktion berücksichtigt werden. Eine offizielle Klassifikation existiert nicht, jedoch wird bei Gesunden, Erwachsenen Kindern und Menschen ein Wert von 100 Prozent erwartet. Bei älteren Personen sind Werte um 90 Prozent akzeptabel bei jüngeren Personengruppen behandlungsbedürftig. Werte unter 85 Prozent gelten als kritisch. Im Rahmen der Behandlung des Lungenhochdrucks wird nach der Klassifikation der New York Health Association (NYHA) in die Klassen I-IV unterschieden, wobei Klasse III bei Werten um 60 Prozent und Klasse IV bei Werten um 50 Prozent greift [HBD+05].
- **CO₂:** Die Messung der Konzentration an Kohlenstoffdioxid (CO₂) kann bei verschiedenen Verfahren der künstlichen Beatmung unterstützen. Der menschliche Organismus verbraucht Sauerstoff (O₂) und generiert Kohlendioxid (CO₂), welcher mit der Ausatemluft expiriert wird. Die produzierte Menge liegt bei einem lungengesunden Menschen bei ca. 5,6 Vol % CO₂. In den meisten Anwendungen wird der sog. Partialdruck in der Einheit mmHg angegeben (pCO₂), berechnet nach der Formel von Dalton. Der Normbereich des arteriell gemessenen Partialdrucks liegt zwischen 35 – 45 mmHg [VP10].

Im Folgenden wird der oben skizzierte Prozess auf die drei Use Cases FitPit, Adipositas-Begleiter und Anästhesieüberwachung angewendet.

7.2.3 Use Case: FitPit

In Kapitel 2.4.2 wurde das Projekt FitPit vorgestellt. Zielesetzung dieses ist es, Patienten bzw. Trainierende bei der Optimierung ihres Trainings zu unterstützen. Hierzu erfolgt eine Überwachung des Gesundheitszustands durch eine fortlaufende Messung von Vitalwerten.

Im Rahmen der Implementierung erfolgt eine vereinfachte bzw. minimierte Betrachtung des Informationsbedarfs sowie der daraus resultierenden Bedingungen und Aktivitäten.

Basierend auf dem Klassifikationsschema aus Kapitel 2.3 lässt sich der Use Case FitPit wie in der nachfolgenden Tabelle 56 angegeben darstellen.

Tabelle 56: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Case FitPit.

Typ	Telemonitoring von Vitalwerten
Beschreibung	Im Rahmen von FitPit erfolgte eine Langzeitmessung von ausgewählten Vitalparametern. Zur Langzeitmessung misst der Patient die Vitalparameter Blutdruck, Gewicht, Puls und Sauerstoffsättigung an einem Kiosk. Die Werte werden an TiEE übertragen.
Kategorie	Es erfolgt eine Überwachung des Gesundheitszustands im Sinne eines Langzeitmonitorings.
Sender	Die Übertragung der Vitalwertdaten, gemessen am jeweiligen Patienten, erfolgt vermittelt über das Messkiosk.
Empfänger	Das Health Device Gateway empfängt die Daten und transportiert diese weiter zu TiEE.
Kommunikationsrichtung	Die Kommunikation erfolgt gerichtet, indem den Probanden eine Information zugesandt wird.
Technisches Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> - Vitalwertensoren: Waage, Blutdruckmessgerät, Puls-oxymeter. - Kiosk.
Daten	Blutdruck, Gewicht, Puls und Sauerstoffsättigung.
Zweck	Es handelt sich um eine medizinische Zweckbindung zur Überwachung des Gesundheitszustands des Senders.
Timing	Die Kommunikation zwischen dem vitalwertmessenden System und der ILOG-Engine erfolgt in Echtzeit. Die Verteilung der verdichteten Information an die Empfänger erfolgt asynchron.

7.2.3.1 Testumgebung und Testaufbau

Die Evaluation von FitPit erfolgte im Smart Health Lab Demo-Center des Fraunhofer ISST. Hierbei handelt es sich um einen mit zwei Kraft- und zwei Kardiogeräten ausgestatteten Trainingsbereich.

Tabelle 57: Testaufbau FitPit.

Evaluationszeitraum	01.02.2013-30.04.2013
Anzahl Probanden	15
Anzahl Datensätze	Insgesamt wurden 2445 Einzelmessungen erfasst.
Vitalwerttypen	Blutdruck, Puls, Gewicht, Sauerstoffsättigung
Aufbau	Evaluation des Verhaltens bei kleiner Datenpunktzahl über einen langen Zeitraum. Die Probanden sind angehalten mindestens einmal pro Tag zu messen.

Probanden: Insgesamt haben an der Evaluation von TiEE im Rahmen des Use Cases FitPit 15 Probanden teilgenommen, fünf Probanden haben die Messreihe vorzeitig abgebrochen.

Das Alter betrug zwischen 24 bis 50 Jahren. Gut 2/3 der Probanden stuften sich als unsportlich bzw. als Gelegenheitssportler ein. Die primären Zielsetzungen zur Ausübung von Sport waren die Steigerung der körperlichen Grundfitness sowie die Gewichtsabnahme.

Datensätze: Es wurden insgesamt 2445 Datensätze erfasst, gleichverteilt auf die o.g. Vitalwerttypen. Im Mittel ergibt sich pro Patient eine Datensatzgröße von 124 Datensätzen, wobei in der realen Betrachtung Unterschiede in der Messhäufigkeit berücksichtigt werden müssen. Zur Auswertung wurden aufgrund der Datenqualität lediglich die Daten von zehn Patienten eingesetzt.

Aufbau: Zu Beginn registrieren sich die Benutzer anonym am FitPit Kiosk und erhalten so ihre TeilnehmerID (Pseudonym). Nachfolgend hat jeder Proband einen Fragebogen (siehe Anhang A7) erhalten. Dieser wurde in Kooperation mit der Fakultät für Sportwissenschaften der TU Dortmund entwickelt und basiert auf gängigen Fragebögen wie dem SF36. Hierbei handelt es sich um einen Gesundheitsfragebogen zur Erhebung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Somit können gesundheitliche Einschränkungen erfasst und mit den Vitalwertverläufen korreliert werden.

Im Rahmen der Langzeitmessung messen die Probanden über den Evaluationszeitraum von drei Monaten mindestens einmal täglich ihre Vitalwerte Blutdruck, Puls, Gewicht, Sauerstoffsättigung. Sofern kritische bzw. relevante Situationen erkannt werden, wird der Administrator des Systems sowie der Proband per Email informiert.

7.2.3.2 Bedarfsformalisierung

Gemeinsam mit der Fakultät für Sportwissenschaften der TU Dortmund wurden Modelle zur Optimierung eines gerätebezogenen Trainings erarbeitet.

Die Langzeitmessung ermöglicht die Detektion von Langzeittrends, wie z. B. die Gewichtsabnahmen oder eine Leistungssteigerung in Form eines stabilisierten Pulses. Hierdurch können u.a. auch Trainingsüberlastungen erkannt werden. Somit ergeben sich spezifische Anforderungen an die Verarbeitung der eintreffenden Werte, skizziert in der nachfolgenden Abbildung 46.

Sofern eine Blutdruck- und Pulsmessung durchgeführt wird, sind sowohl fallende wie auch steigende Trends zu verarbeiten. Erstere signalisieren im Durchschnitt eine Leistungsverbesserung durch Training des Körpers. Letztere wiederum weisen bei Überschreitung einer patientenbezogenen Grenze auf eine Überlastung des Körpers hin. Somit besteht ein Informationsbedarf sowohl hinsichtlich einer kritischen wie auch einer unkritischen Werteentwicklung, kann doch auch im Falle einer unkritischen Entwicklung das Training an die Leistung des jeweiligen Trainierenden angepasst werden.

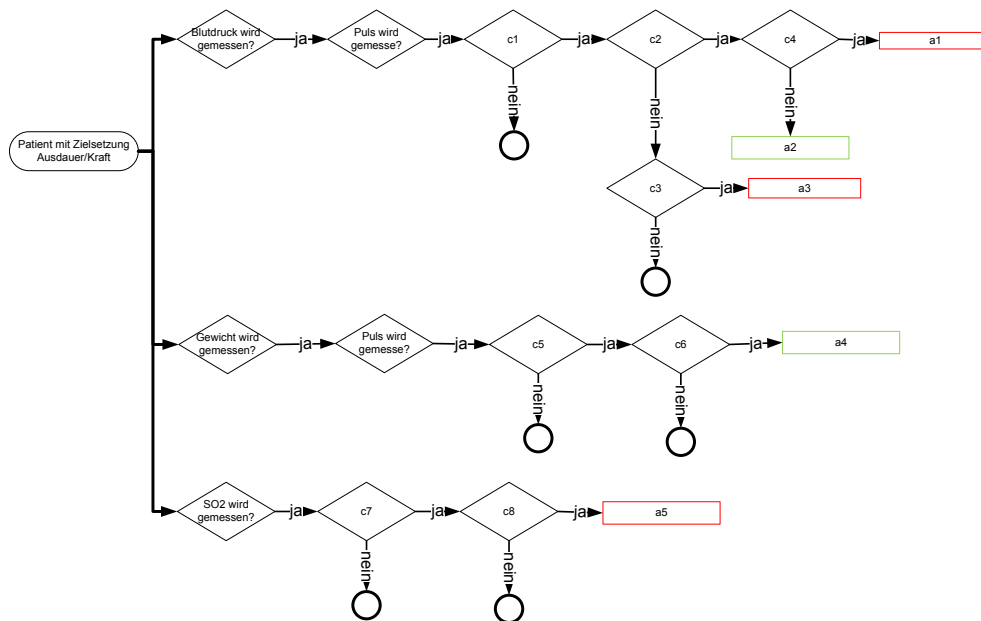


Abbildung 46: Bedarfsmodellierung für den Use Case FitFit (vergrößert siehe Anhang A11).

Die Gesamtheit der zu berücksichtigenden Bedingungen ist in Tabelle 64 dargestellt. Zur Erleichterung des Verständnisses werden in der nachfolgenden Beschreibung der Bedingungen nicht die Codes der jeweiligen Trendabstraktionsklasse genutzt, sondern die Identifier.

Tabelle 58: Bedingungen für den Use Case FitFit.

ID	Bedingung
c1	(blutdruck.TP5 = OPTIMAL) AND (puls.TP5 = OPTIMAL)
c2	(blutdruck.BP1 = INCREASING DURING puls.BP1 INCREASING) AND (puls.TP3= SINCREASED)
c3	(blutdruck.BP1 = DECREASING DURING puls.BP1 DECREASING) AND (puls.TP3= SDECREASED)
c4	(blutdruck.SP1 > 160/85) AND (puls.SP1 > 135)
c5	(blutdruck.TP4 = VLONG) AND (gewicht.TP4 = VLONG)
c6	(blutdruck.BP1 = DECREASING DURING gewicht.BP1 INCREASING)
c7	(so2.BP1 = DECREASING) AND (so2.TP2 = FAST)
c8	(so2.SP1 < 95) AND (so2.SP5 < 90)

Die folgenden Aktivitäten werden durch die o.g. Bedingungen ausgelöst:

Tabelle 59: Aktivitäten für den Use Case FitFit.

ID	Aktivität
a1	INFORMATION Der Blutdruck und der Puls haben einen kritischen Wert überschritten. Die Trainingsintensität muss sofort angepasst werden; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Trainer JMS trainer_in DIRECT;
a2	INFORMATION Der Blutdruck und der Puls sind im Verlauf kontinuierlich

	angestiegen. Bitte halten Sie Rücksprache mit Ihrem Trainer; RELEVANCE 90; CTITICALITY 45; RECIPIENT ID 2 Trainierender EMAIL id2@fitpit.de DIRECT;
a3	INFORMATION Blutdruck und Puls sind im Verlauf des derzeitigen Trainings stetig gefallen. Halten Sie Rücksprache mit Ihrem Trainer, um die Leistung zu erhöhen; RELEVANCE 100; CTITICALITY 10; RECIPIENT ID 2 Trainierender EMAIL id2@fitpit.de DIRECT;
a4	INFORMATION Hinweis auf einen Massezuwachs: Das Gewicht ist angestiegen bei gleichzeitiger Optimierung des Ruhepulses. Das Training sollte an die Leistung angepasst werden RELEVANCE 70; CTITICALITY 30; RECIPIENT ID1 Trainer JMS trainer_in DIRECT; RECIPIENT ID 2 Trainierender EMAIL id2@fitpit.de DIRECT;
a5	INFORMATION Die Sauerstoffsättigung ist während des Trainings kontinuierlich gefallen und hat nun einen kritischen Wert erreicht RELEVANCE 100; CTITICALITY 80; RECIPIENT ID1 Trainer JMS trainer_in DIRECT; RECIPIENT ID 2 Trainierender EMAIL id2@fitpit.de DIRECT;

Basierend auf den oben beschriebenen Bedingungen und Aktivitäten werden die Bedarfe, wie nachfolgend skizziert, bereitgestellt.

Tabelle 60: Bedarfsprofile für den Use Case FitPit.

ID	Bedarf
d1	DEMAND c1 → c2 → c4 ACTION a1 ELSE a2;
d2	DEMAND c1 → c2 → c3 ACTION a3 ELSE NIL;
d3	DEMAND c5 → c6 ACTION a4 ELSE NIL;
d4	DEMAND c7 → c8 ACTION a5 ELSE NIL;

7.2.3.3 Instanziierung der TIL-Profile

Zur Realisierung einer informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten in FitPit, musste für jeden einzelnen Probanden ein TIL-Profil instanziiert werden. Jeder Proband ist hierzu mit einer eindeutigen ID im System registriert, mit welcher die Erstellung des patientenindividuellen Ereignisstroms (PES) erfolgt. Zudem erfordert die Erstellung eines TIL-Profiles eine Abbildung der Bedarfsprofile aus Tabelle 60 in für Esper verarbeitbare Statements, wie in Tabelle 61 angegeben.

Tabelle 61: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper Statements.

<p>Bedarfsprofil d1, Aktivität a1</p> <pre>"SELECT * , 'Statement1 Fitpit' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE (blutdruck.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL AND puls.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL) "+"AND (blutdruck.BP1=EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP2.during(puls.BP2) AND puls.TP3= EnumAreaClassification.SINCREASED) "+"AND (blutdruck.SP1 > 160/85 AND puls.SP1 > 135) "</pre>
<p>Bedarfsprofil d1, Aktivität a2</p> <pre>"SELECT * , 'Statement2 Fitpit' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+" WHERE (blutdruck.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL AND puls.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL) "+"AND (blutdruck.BP1=EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP2.during(puls.BP2) AND puls.TP3= EnumAreaClassification.SINCREASED) "+"AND NOT (blutdruck.SP1 > 160/85 AND puls.SP1 > 135) "</pre>
<p>Bedarfsprofil d2, Aktivität a3</p> <pre>"SELECT * , 'Statement3 Fitpit' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE (blutdruck.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL AND puls.TP5=EnumNumberOfEvents.OPTIMAL) "+"AND NOT (blutdruck.BP1=EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP2.during(puls.BP2) AND puls.TP3= EnumAreaClassification.SINCREASED) "+"AND (blutdruck.BP1=EnumTrendType.DECREASING AND puls.BP1 = EnumTrendType.DECREASING AND blutdruck.BP2.during(puls.BP2) AND puls.TP3= EnumAreaClassification.SDECREASED) "</pre>
<p>Bedarfsprofil d3, Aktivität a4</p> <pre>"SELECT * , 'Statement4 Fitpit' as eventMessage "+ "FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.WEIGHTPATTERN).std:lastevent() AS gewicht</pre>

```
"+"WHERE (blutdruck.TP4=EnumDuration.VLONG AND  
gewicht.TP4=EnumDuration.VLONG) "+"AND  
(blutdruck.BP1=EnumTrendType.DECREASING AND gewicht.BP1 =  
EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP2.during(gewicht.BP2)) "
```

Bedarfsprofil d4, Aktivität a5

```
"SELECT * , 'Statement5 Fitpit' as eventMessage "+"FROM  
CTPE(patientID="+profile.getRootID()+ " AND  
h3=EnumVitalSignType.OXYGENSATURATIONPATTERN ).std:lastevent() AS  
so2 "+"WHERE (so2.BP1=EnumTrendType.DECREASING AND  
so2.TP2=EnumSpeed.FAST) "+"AND (so2.SP1 < 95 AND so2.SP5 < 90) "
```

Die oben aufgelisteten Statements beinhalten bis auf den Patientenidentifizierer `patientID` keine patientenbezogenen Variablen. Respektive bedarf es nur minimaler Anpassungen eines einmal erstellten TIL-Profiles für die einzelnen Patienten.

Ein wesentlicher Bestandteil der beschriebenen Statements sind die durch diese ausgelösten Aktivitäten, wie in Tabelle 59 skizziert. Auch hier bedarf es lediglich einer Anpassung der Empfänger, respektive des jeweiligen Probanden (`RECIPIENT`).

7.2.3.4 Instanziierung der TILs

FitPit erfasst und verarbeitet die Vitalwerttypen Blutdruck, Puls, Gewicht und Sauerstoffsättigung.

Hierbei gelten für die Bereichsklassifikation (TP3) die nachfolgenden Anpassungen:

- TIL1 – Blutdruck: Die Trendabstraktion des Blutdrucks erfolgt entlang der WHO-Klassifikation [WW03]. Innerhalb von FitPit erfolgt keine patientenspezifische Anpassung, um eine objektive Vergleichbarkeit der Trendabstraktion innerhalb der Evaluation zu gewährleisten.
- TIL2 – Puls: FitPit führt keine patientenspezifischen Anpassungen durch, um so den Einfluss der Trendabstraktionsparametrierung auf Langzeitmessung (Ruhe) sowie Kurzzeitmessungen (Anstrengung) zu evaluieren.
- TIL3 – Gewicht: Die FitPit-Trendabstraktion folgt der WHO-Klassifikation des BMI.
- TIL4 – Sauerstoffsättigung: Die Klassifikation der Sauerstoffsättigung erfolgt anhand der in Kapitel 7.2.2 genannten Grenzen.

Zusammengefasst müssen für alle Patienten jeweils vier TILs instanziiert werden.

7.2.4 Use Case: Adipositas-Begleiter

Der Use Case Adipositas-Begleiter wurde im Rahmen des Projekts Telemedizin-Repository konzipiert und implementiert. Zielsetzung war die poststationäre Unterstützung von Adipositaspatienten mithilfe einer App. Diese erlaubt die Protokollierung der Vitalparameter Gewicht, Puls und Blutdruck, wobei insbesondere das Gewicht eine zentrale Rolle spielt.

Die Tabelle 62 listet die wesentlichen Aspekte des Use Cases Adipositas-Begleiter entlang des Klassifikationsschemas zum Telemonitoring auf. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass TiEE zur Laufzeit des Projekts noch nicht zur Verfügung stand und die Daten nachträglich simuliert an TiEE gesendet wurden. Respektive stellt das nachfolgende Schema eine idealisierte Sicht unter Nutzung von TiEE dar.

Tabelle 62: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Cases Adipositas-Begleiter.

Typ	Telemonitoring von Vitalwerten
Beschreibung	Mithilfe der Adipositas-Begleiter App erfassen Patienten im Rahmen einer poststationären Adipositas-Therapie ihre Vitalwerte. Diese werden per Internet an die Infrastruktur des Adipositas-Begleiters gesendet. Die hier gesammelten Daten werden durch TiEE analysiert. Als bald definierte Trends erkannt werden, wird eine Benachrichtigung ausgelöst.
Kategorie	Typ 1: Es erfolgt eine Überwachung des Gesundheitszustands im Sinne des Fernmonitorings.
Sender	Als Sender fungiert ein Smartphone, auf welchem eine App zur Erfassung von Vitalwerten dient. Der Patient trägt die Daten manuell ein.
Empfänger	Vermittelt über TiEE erfolgt eine Notifikation des Personals des telemedizinischen Servicedienstleisters sowie der Klinik.
Kommunikationsrichtung	Die Kommunikation erfolgt gerichtet, indem die unter Empfänger genannten Personengruppen eine Notifikation per Email erhalten.
Technisches Hilfsmittel	Smartphone: Eingabe der Vitalwerte Puls, Gewicht und Blutdruck.
Daten	Blutdruck, Gewicht und Puls.
Zweck	Es handelt sich um eine medizinische Zweckbindung zur Überwachung des Gesundheitszustands des Senders.
Timing	Die Kommunikation zwischen dem vitalwertmessenden System und der ILOG-Engine erfolgt in Echtzeit. Die Verteilung der verdichteten Information an die Empfänger erfolgt asynchron.

7.2.4.1 Testumgebung und Testaufbau

Die Evaluation des Einsatzes von TiEE im Projekt Adipositas-Begleiter erfolgte retrospektiv, indem die gesammelten Daten simuliert an die TiEE-Engine gesendet wurden.

Tabelle 63: Testaufbau Adipositas-Begleiter.

Evaluationszeitraum	01.10.2012-31.03.2013 (Daten gesammelt)
Anzahl Probanden	10
Anzahl Datensätze	Insgesamt wurden 148 Einzelmessungen erfasst
Vitalwerttypen	Blutdruck, Puls, Gewicht
Aufbau	Retrospektive Simulation

Probanden: Insgesamt haben an der Evaluation von TiEE im Rahmen des Use Cases Adipositas-Begleiter 10 Probanden mit der Diagnose Adipositas permagna teilgenommen.

Datensätze: Es wurden insgesamt 148 Datensätze erfasst, wobei der Puls und das Gewicht in der Anzahl dominieren. Der Blutdruck wurde aufgrund des aufwändigeren Verfahrens zur Ermittlung nur selten dokumentiert.

Aufbau: Im Verlauf des Projekts erfolgte die Durchführung einer Studie, wie bereits in Kapitel 2.4.1 beschrieben. Hierbei erhielten die Probanden einen digitalen Begleiter – also ein Smartphone, auf welchem die Adipositas-App installiert war. Über diese erfolgte die manuelle Protokollierung der Vitalwerte. Diese wurden jeweils mit einem Zeitstempel versehen und in einer Datenbank persistiert.

Zum Zweck der Evaluation wurden die Daten simuliert an die TiEE-Engine gesendet. Aufgrund der langen Laufzeit konnte keine Echtzeitsimulation durchgeführt werden, so dass die sich durch die Zeitstempel ergebende Zeitachse proportional skaliert wurde, um so die Distanzen zwischen einzelnen Messpunkten aufrecht zu erhalten. Ebenfalls wurden sämtliche, sich in den Bedingungen (siehe Tabelle 64) befindlichen Zeitangaben skaliert.

7.2.4.2 Bedarfsformalisierung

Die Modellierung des Informationsbedarfs erfolgte in Kooperation mit den Experten der Gelderland-Klinik. Die zwei wesentlichen Regeln, welche es abzubilden galt, waren:

- Zunahme des Gewichtes von mehr als 1,5 kg in einer Woche (das Gewicht des Patienten soll wöchentlich abgefragt werden).
- Das Gewicht steigt in zwei aufeinander folgenden Wochen.

Zusätzlich zu diesen beiden Hauptregeln wurden weitere Regeln erarbeitet, welche die Analyse zusätzlich unterstützen. Das Ergebnis ist im nachfolgenden Bedarfsmodell in Abbildung 47 visualisiert.

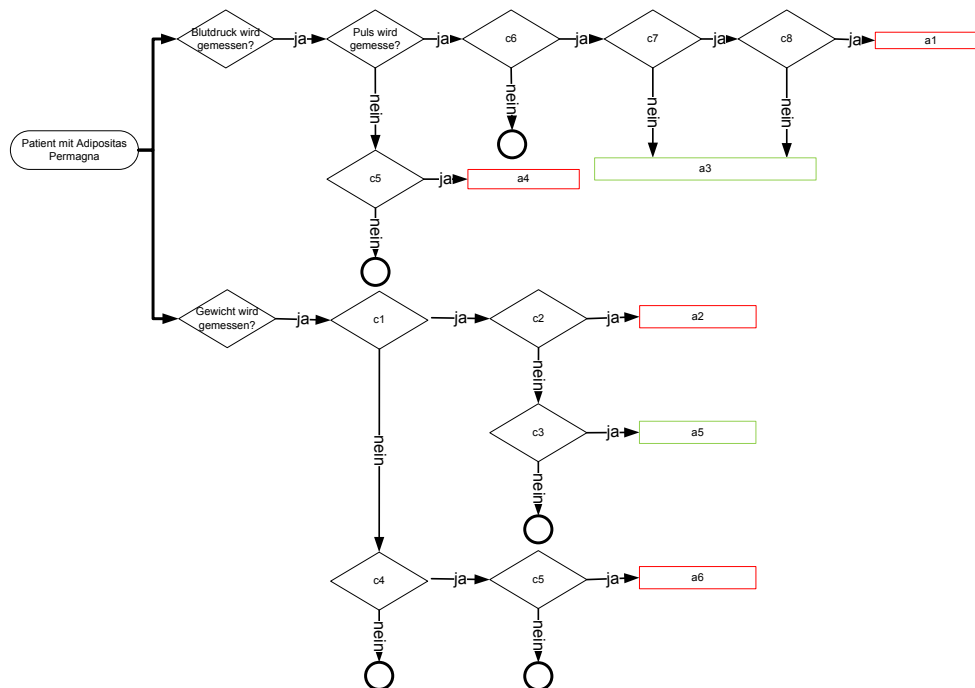


Abbildung 47: Bedarfsmodellierung für den Use Case Adipositas Begleiter (vergrößert siehe Anhang A12).

Sofern sowohl Gewicht und Puls gemessen werden, werden deren Vitalwertverläufe hinsichtlich eines longitudinal korrelierten Anstiegs analysiert. Gerade bei adipösen Personengruppen können sich hieraus schwere kardiologische Sekundärerkrankungen ergeben. Zudem muss aus diesem Grund bei spontanen Blutdruckanstiegen direkt interveniert werden. Sofern das Gewicht erfasst wird, erfolgt eine Analyse, basierend auf den beiden o.g. Regeln. Das Gewicht ist ein wesentliches Merkmal zur Nachverfolgung der poststationären Adipositas-Therapie. Die Gesamtheit der zu berücksichtigenden Bedingungen ist in Tabelle 64 dargestellt. Zur Erleichterung des Verständnisses werden in der nachfolgenden Beschreibung der Bedingungen nicht die Codes der jeweiligen Trendabstraktionsklasse genutzt, sondern die Identifier. Bezeichner der Form x_i symbolisieren Variablen, also patientenabhängig festzulegende oder zu berechnende Parameter.

Tabelle 64: Bedingungen für den Use Case Adipositas-Begleiter.

ID	Bedingung
c1	(gewicht.TP4 = LONG)
c2	(gewicht.BP1 = INCREASING) AND (gewicht.TP5 = OPTIMAL) AND (gewicht.TP3 = SINCREASED)
c3	(gewicht.BP1 = DECREASING) AND (gewicht.SP1 < X1) AND (gewicht.SP2 < 2)
c4	(gewicht.TP4 = MIDDLE) AND (gewicht.BP1 = INCREASING)
c5	(gewicht[-1].BP1 = INCREASING) AFTER (gewicht.BP1 = INCREASING) AND (gewicht[-1].TP4 = MIDDLE)
c6	(puls.TP4 = LONG) AND (blutdruck.TP4 = LONG)

c7	(puls.BP1 = INCREASING OVERLAPS blutdruck.BP1 = INCREASING)
c8	(puls.SP7 > 0.6) AND (blutdruck.SP7 > 0.5)
c9	(blutdruck.BP1 = SLOPUP) AND (blutdruck.SP1 > X2)

Die folgenden Aktivitäten werden durch die o.g. Bedingungen ausgelöst.

Tabelle 65: Aktivitäten für den Use Case Adipositas-Begleiter.

ID	Aktivität
a1	INFORMATION Über einen längeren Zeitraum konnte ein überlappender Anstieg des Pulses und des Blutdrucks festgestellt werden. Bitte halten Sie Rücksprache mit dem Probanden.; RELEVANCE 80; CTITICALITY 60; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;
a2	INFORMATION Das Gewicht ist über einen längeren Zeitraum angestiegen und es bedarf einer Kontrolle. ; RELEVANCE 70; CTITICALITY 50; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;
a3	INFORMATION Blutdruck und Puls sind über einen langen Zeitraum nicht gestiegen bzw. wurden keine kritischen Schwellwerte erreicht. RELEVANCE 40; CTITICALITY 10; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;
a4	INFORMATION Es gab einen plötzlichen Anstieg des Blutdrucks.; RELEVANCE 60; CTITICALITY 30; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;
a5	INFORMATION Das Gewicht ist mit nur geringer Streuung im Mittelwert kontinuierlich gefallen. Halten Sie zur positiven Verstärkung Rücksprache mit dem Probanden. RELEVANCE 80; CTITICALITY 20; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;
a6	INFORMATION Das Gewicht ist auf zwei aufeinanderfolgenden Wochen gestiegen. Bitte halten Sie Rücksprache mit dem Probanden.; RELEVANCE 100; CTITICALITY 80; RECIPIENT ID1 Servicemitarbeiter JMS service_in DIRECT;

Basierend auf den oben beschriebenen Bedingungen und Aktivitäten werden die Bedarfe, wie nachfolgend skizziert, bereitgestellt.

Tabelle 66: Bedarfsprofile für den Use Case Adipositas-Begleiter.

ID	Bedarf
d1	DEMAND c6→c7→c8 ACTION a1 ELSE a3;
d2	DEMAND c9 ACTION a4 ELSE NIL;

d3	DEMAND c1→c2 ACTION a2 ELSE NIL;
d4	DEMAND c1→c2→c3 ACTION a5 ELSE NIL;
d5	DEMAND c4→c5 ACTION a6 ELSE NIL;

7.2.4.3 Instanziierung des TIL-Profiles

Zur Realisierung einer informationslogistischen Verarbeitung von Vitalwerten aus dem Projekt Adipositas-Begleiter musste für jeden einzelnen Probanden ein persönliches TIL-Profil instanziiert werden. Jeder Proband ist hierzu mit einer eindeutigen ID im System registriert, mit welcher die Erstellung des patientenindividuellen Ereignisstroms (PES) erfolgt. Zudem erfordert die Erstellung eines TIL-Profiles eine Abbildung der Bedarfsprofile aus Tabelle 66 in für Esper verarbeitbare Statements wie in Tabelle 67 angegeben.

Tabelle 67: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper-Statements.

Bedarfsprofil d1, Aktivität a1
"SELECT * , 'Statement1 Adipositas' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE (puls.TP4 = EnumDuration.LONG AND blutdruck.TP4 = EnumDuration.LONG) "+"AND (puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP3.overlaps(blutdruck.BP2)) "+"AND (puls.SP7 > 0.6 AND blutdruck.SP7 > 0.5) "
Bedarfsprofil d1, Aktivität a3
"SELECT * , 'Statement3 Adipositas' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS blutdruck, "+"CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE (puls.TP4 = EnumDuration.LONG AND blutdruck.TP4 = EnumDuration.LONG) "+"AND(NOT(puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP3.overlaps(blutdruck.BP2)) "+"OR "+"((puls.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND puls.BP3.overlaps(blutdruck.BP2)) "+"AND NOT(puls.SP7 > 0.6 AND blutdruck.SP7 > 0.5)))
Bedarfsprofil d2, Aktivität a4
"SELECT * , 'Statement4 Adipositas' as eventMessage " "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.BLOODPRESSUREPATTERN).std:lastevent() AS

blutdruck "+"WHERE (blutdruck.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND blutdruck.SP1 > X2) "
Bedarfsprofil d3, Aktivität a2
"SELECT * , 'Statement6 Adipositas' as eventMessage "+"FROM PATTERN[EVERY gewicht1=CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.WEIGHTPATTERN) - > "+"gewicht2=CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.WEIGHTPATTERN)] "+"WHERE NOT (gewicht2.TP4 = EnumDuration.LONG) "+"AND (gewicht2.TP4 = EnumDuration.MIDDLE AND gewicht2.BP1 = EnumTrendType.INCREASING) "+"AND (gewicht1.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND gewicht1.BP2.AFTER(gewicht2.BP3) AND gewicht2.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND gewicht1.TP4 = EnumDuration.MIDDLE) "
Bedarfsprofil d4, Aktivität a5
"SELECT * , 'Statement5 Adipositas' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.WEIGHTPATTERN).std:lastevent() AS gewicht "+"WHERE (gewicht.TP4 = EnumDuration.LONG) "+"AND NOT (gewicht.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND gewicht.TP5 = EnumNumberOfEvents.OPTIMAL AND gewicht.TP3 = EnumAreaClassification.SINCREASED) "+"AND (gewicht.BP1 = EnumTrendType.DECREASING) AND (gewicht.SP1 < X1) AND (gewicht.SP2 < 2) "
Bedarfsprofil d5, Aktivität a6
"SELECT * , 'Statement2 Adipositas' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.WEIGHTPATTERN).std:lastevent() AS gewicht "+"WHERE (gewicht.TP4 = EnumDuration.LONG) "+"AND (gewicht.BP1 = EnumTrendType.INCREASING AND gewicht.TP5 = EnumNumberOfEvents.OPTIMAL AND gewicht.TP3 = EnumAreaClassification.SINCREASED) "

Im Unterschied zu den Statements aus dem Projekt FitPit besitzen diese patientenbezogene Variablen (X1, X2). Die Variable x1 ist ein Platzhalter für das optimale mittlere Gewicht eines Patienten. Die Variable X2 wiederum dient der Aufnahme des optimalen Blutdrucks eines Patienten. Diese Variablen sind bei der Instanziierung der Statements entweder manuell oder durch eine softwaretechnologische Implementierung vorzugeben. Ein weiterer variabler Bestandteil der Statements ist der Patientenidentifizierer `patientID`.

Analog zu den Aktivitäten im Projekt FitPit wurden auch für das Projekt Adipositas-Begleiter Aktivitäten festgehalten. Diese sind über alle Patienten gleich definiert, da hier lediglich ein Empfänger (RECIPIENT) festgelegt werden muss.

7.2.4.4 Instanziierung der TILs

Im Projekt Adipositas-Begleiter wurden die Vitalwerte Blutdruck, Gewicht und Puls erfasst und verarbeitet. Die Wertebereiche zur Trendabstraktion sind in Anhang 0 dargestellt.

Hierbei gelten für die Bereichsklassifikation (TP3) die nachfolgenden Anpassungen:

- TIL1 – Blutdruck: Die Trendabstraktion des Blutdrucks erfolgt entlang der WHO Klassifikation [WW03].
- TIL2 – Puls: Innerhalb des Projekts Adipositas-Begleiter erfolgt keine patientenspezifische Anpassung.
- TIL3 – Gewicht: Da es sich im Rahmen dieses Projekt um adipöse Probandengruppen handelt, erfolgt eine patientenspezifische Anpassung der Klassifikation und folgt damit nicht den Empfehlungen der WHO. Die Variable p_{Norm} der Bereichsklassifikation aus Anhang 0 spezifiziert das gemessene Ausgangsgewicht. Die Klassifikation spezifiziert das Abnahme- bzw. Zunahmeverhalten der Probanden.

Zusammengefasst müssen für jeden Probanden drei TILs instanziiert werden.

7.2.5 Use Case: Anästhesieüberwachung

Innerhalb der Bundesrepublik Deutschland werden pro Jahr ca. 6 Millionen Narkosen durchgeführt. Die University of Queensland hat sich der Überwachung von Patienten während einer Narkose angenommen. 32 Fälle mit einer Dauer von 13 Minuten bis zu fünf Stunden (im Durchschnitt 105 Minuten) wurden hierzu dokumentiert. Die Dokumentation umfasst, je nach Eingriff, die Protokollierung eines EKGs, der Sauerstoffsättigung, des Pulses, des arteriellen Blutdrucks sowie diverser respiratorischer Parameter [LGJ11]. Als Patientenmonitore wurden die Systeme Philips IntelliVue MP70 und MP30 eingesetzt. Ein einzelner Datensatz besitzt bis zu 1.560.000 Dateneinträge. Die Daten können ohne Berechnung bezogen werden und stehen unter der Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Die nachfolgende Tabelle 68 listet die wesentlichen Aspekte der Anästhesieüberwachung entlang des Klassifikationsschemas zum Telemonitoring auf. Zwei Aspekte sind hierbei zu berücksichtigen:

- Telemedizin: Die Überwachung im Rahmen dieses Use Cases ist kein klassisches telemedizinisches Szenario, da eine Distanz zwischen Patient und Arzt in diesem Fall nicht gegeben ist. Dennoch können die Datensätze herangezogen werden, um die Modularität zur Verarbeitung verschiedener Vitalwerttypen zu zeigen.
- Simulation: Da es sich bei den hier zur Verfügung stehenden Daten um externe Datensätze handelt, werden diese simuliert an TiEE gesendet.

Dementsprechend stellt das nachfolgende Schema eine idealisierte Sicht unter Nutzung von TiEE dar.

Tabelle 68: Anwendungsklasse Telemonitoring für den Use Cases Anästhesieüberwachung.

Typ	Telemonitoring von Vitalwerten
Beschreibung	Unter Nutzung der Systeme Philips IntelliVue MP70 und MP30 erfolgte die Messung und Dokumentation von Vitalwerten während eines operativen Eingriffs. Die so gesammelten Daten werden durch TiEE analysiert. Als bald definierte Trends erkannt werden, wird eine Benachrichtigung ausgelöst.
Kategorie	Typ 1: Überwachung von Vitalwerten und anderen sensorbasierten Messwerten.
Sender	Als Sender fungieren die Systeme Philips IntelliVue MP70 und MP30.
Empfänger	TiEE errechnet Trends und erzeugt einen Alarm zur Benachrichtigung des jeweiligen Narkosearztes.
Kommunikationsrichtung	Die Kommunikation erfolgt mit dem leitenden Narkosearzt.
Technisches Hilfsmittel	Philips IntelliVue MP70 und MP30
Daten	Endtidales CO ₂ , Sauerstoffsättigung und Puls.
Zweck	Es handelt sich um eine medizinische Zweckbindung zur Überwachung des Gesundheitszustands des Patienten.
Timing	Die Kommunikation zwischen dem vitalwertmessenden System und der ILOG-Engine erfolgt in Echtzeit.

7.2.5.1 Testumgebung und Testaufbau

Die Evaluation von TiEE im Use Case Anästhesieüberwachung erfolgte retrospektiv indem die gesammelten Daten simuliert an die TiEE Engine gesendet wurden.

Tabelle 69: Testaufbau Use Case Anästhesieüberwachung.

Evaluationszeitraum	2011 (Daten gesammelt)
Anzahl Probanden	32
Anzahl Datensätze	Insgesamt wurden ca. 14.580.000 Dateneinträge erfasst.
Vitalwerttypen	Endtidales CO ₂ , Sauerstoffsättigung und Puls
Aufbau	Retrospektive Simulation

Probanden: Insgesamt können zur Evaluation von TiEE im Rahmen dieses Use Cases Daten von 32 Probanden genutzt werden. Die einzelnen Probanden wurden nicht näher differenziert. Zur Evaluation sollen die Daten von drei Probanden herangezogen werden.

Datensätze: Es wurden 32 Datensätze mit insgesamt ca. 14.580.000 Dateneinträgen erfasst. Die Daten wurden mit einer Auflösung von 10 Millisekunden dokumentiert. Aufgrund der Tatsache, dass die Rohdaten mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen durch die o.g. Geräte aufgenommen wurden, wurden diese durch verschiedene Interpolationstechniken auf 10ms

resampled. Die Daten stehen im Comma-separated values (CSV) Format zur Verfügung. Zu jedem Volldatensatz existiert ein sog. Trenddatensatz. Hierzu wurde die Abtastfrequenz von 10ms auf eine Sekunde erhöht. Zur Evaluation sollen primär diese Datensätze genutzt werden, um die Verdichtung von Einzelereignissen zu CTPEs und weiter zu bedarfsgerechten Informationen aufzuzeigen. Zur Performance- und Stabilitätsanalyse erfolgt ein Einzeltest mit einem hinreichend großen Volldatensatz.

Aufbau: Die im CSV-Format vorliegenden Daten werden durch einen Simulator mit einer Frequenz von einer Sekunde an TiEE gesendet.

7.2.5.2 Bedarfsformalisierung

Die Modellierung des Informationsbedarfs erfolgte auf Basis von Gesprächen mit Ärzten des St. Josef Hospital Bochum. Es können zwei Typen von zu prüfenden Charakteristika hervorgehoben werden:

- **Schwellwerte:** Die derzeitige Überprüfung von Vitalwerten erfolgt zumeist entlang von Schwellwerten. Wird ein Schwellwert über- bzw. unterschritten kommt es zu einem Alarm.
- **Muster:** Deutlich komplexer aber auch aussagekräftiger sind Muster. Charakteristische zeitliche Verläufe weisen auf relevante Situationen hin.

Zusammengefasst lassen sich die nachfolgend skizzierten Hauptregeln identifizieren:

- Über- bzw. Unterschreitung des patientenspezifischen Pulses um 20%.
- Unterschreitung einer Sauerstoffsättigung von 95%.
- Endtidales CO₂ unter- bzw. oberhalb von 35-45 mmHg. Des Weiteren ist das Muster „Atemwegsobstruktion“ abzubilden.

Für die Vitalwerttypen Blutdruck und Puls wurden jeweils zwei Bedingungen modelliert, je eine Bedingung für die Schwellwertüber und -unterschreitung. Für den Vitalwerttypen CO₂ wurden insgesamt drei Bedingungen modelliert. Die ersten beiden Bedingungen überprüfen ebenfalls, inwiefern die definierten Schwellwerte über- bzw. unterschritten wurden. Die dritte Bedingung formalisiert die zu erkennenden Trends, welche eine mögliche Atemwegsobstruktion beschreiben (siehe Abbildung 48). Das normale Atemmuster lässt sich in fünf Abschnitte unterteilen: Inspirationsphase (1), beginnende Expiration (2), Plateau (3), Endexpiration (4), beginnende Inspiration (5). Im Falle einer Atemwegsobstruktion ist dieses Muster verändert, denn es ist kein Plateau mehr erkennbar.

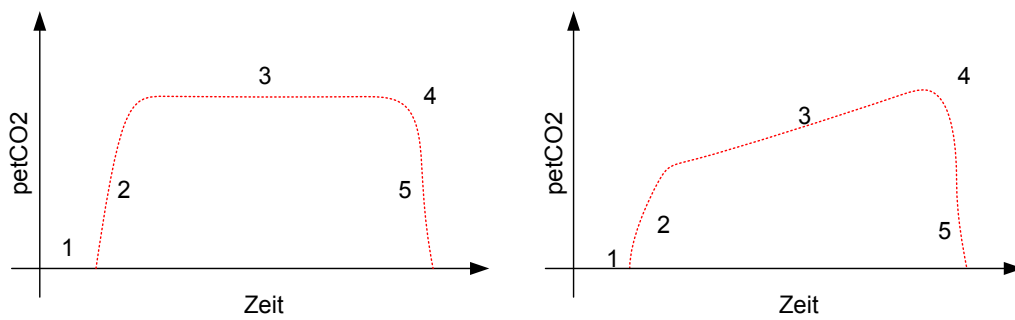


Abbildung 48: Kapnographiekurve; Links: Normal, Rechts: Obstruktion.

Das Ergebnis der Bedarfsformalisierung ist im nachfolgenden Bedarfsmodell in Abbildung 49 visualisiert.

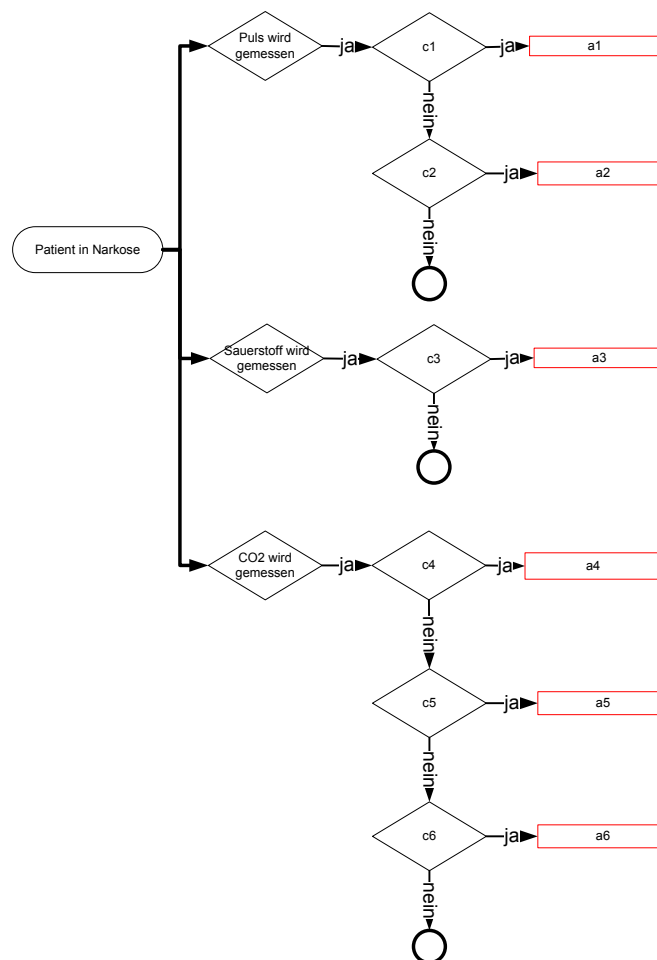


Abbildung 49: Bedarfsmodellierung für den Use Case Anästhesieüberwachung (vergrößert siehe Anhang A13).

Die Gesamtheit der zu berücksichtigenden Bedingungen ist in Tabelle 64 dargestellt. Zur Erleichterung des Verständnisses werden in der nachfolgenden Beschreibung der Bedingungen nicht die Codes der jeweiligen Trendabstraktionsklasse genutzt sondern die Identifier. Bezeichner der Form x_i symbolisieren Variablen, also patientenabhängig festzulegende oder zu berechnende Parameter.

Tabelle 70: Bedingungen für den Use Case Anästhesieüberwachung.

ID	Bedingung
c1	(puls.SP1 > (x1+x1*0.2))
c2	(puls.SP1 < (x1-x1*0.2))
c3	(o2.SP1 < 95)
c4	(co2.SP1 > 45)
c5	(co2.SP1 < 35)
c6	(co2.BP1 = DECREASING) BEFORE (co2[-1].BP1 = INCREASING) BEFORE (co2[-2].BP1 = INCREASING)

Die folgenden Aktivitäten werden durch die o.g. Bedingungen ausgelöst.

Tabelle 71: Aktivitäten für den Use Case Anästhesieüberwachung.

ID	Aktivität
a1	INFORMATION Der Puls hat einen kritischen Schwellwert überschritten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;
a2	INFORMATION Der Puls hat einen kritischen Schwellwert unterschritten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;
a3	INFORMATION Die Sauerstoffsättigung hat einen kritischen Schwellwert unterschritten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;
a4	INFORMATION Der CO ₂ Wert hat einen kritischen Schwellwert überschritten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;
a5	INFORMATION Der CO ₂ Wert hat einen kritischen Schwellwert unterschritten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;
a6	INFORMATION Es ist ein typisches Muster der Atemwegsobstruktion aufgetreten; RELEVANCE 100; CTITICALITY 100; RECIPIENT ID1 Anästhesist JMS alarm_in DIRECT;

Basierend auf den oben beschriebenen Bedingungen und Aktivitäten werden die Bedarfe, wie nachfolgend skizziert, bereitgestellt.

Tabelle 72: Bedarfsprofile für den Use Case Anästhesieüberwachung.

ID	Bedarf
d1	DEMAND c1 ACTION a1 ELSE NIL;
d2	DEMAND c2 ACTION a2 ELSE NIL;
d3	DEMAND c3 ACTION a3 ELSE NIL;
d4	DEMAND c4 ACTION a4 ELSE NIL;
d5	DEMAND c5 ACTION a5 ELSE NIL;
d6	DEMAND c6 ACTION a6 ELSE NIL;

7.2.5.3 Instanziierung der TIL-Profile

Zur Verarbeitung der Vitalwerte wurde für die 32 Fälle des Use Cases jeweils ein TIL-Profil erstellt. Hierzu wurden die zuvor beschriebenen Bedarfsprofile aus Tabelle 72 in für Esper verarbeitbare Statements überführt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 73 skizziert.

Tabelle 73: Abbildung der Bedarfsprofile auf Esper Statements.

Bedarfsprofil d1, Aktivität a1
"SELECT * , 'Statement1 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM CTPe (patientID="+profile.getRootID()+ " AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE (puls.SP1 > (X1+X1*0.2))"
Bedarfsprofil d2, Aktivität a2
"SELECT * , 'Statement2 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM CTPe (patientID="+profile.getRootID()+ " AND h3=EnumVitalSignType.HEARTRATEPATTERN).std:lastevent() AS puls "+"WHERE NOT (puls.SP1 > (X1+X1*0.2)) AND (puls.SP1 < (X1-X1*0.2)) "
Bedarfsprofil d3, Aktivität a3
"SELECT * , 'Statement3 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM CTPe (patientID="+profile.getRootID()+ " AND h3=EnumVitalSignType.OXYGENSATURATIONPATTERN).std:lastevent() AS o2 "+"WHERE (o2.SP1 < 95)"
Bedarfsprofil d4, Aktivität a4
"SELECT * , 'Statement4 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM CTPe (patientID="+profile.getRootID()+ " AND h3=EnumVitalSignType.CARBONDIOXIDEPATTERN).std:lastevent() AS co "+"WHERE (co.SP1 > 45)"

<p>Bedarfsprofil d5, Aktivität a5</p> <pre>"SELECT * , 'Statement5 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.CARBONDIOXIDEPATTERN).std:lastevent() AS co "+"WHERE NOT(co.SP1 > 45) AND (co.SP1 < 35) "</pre>
<p>Bedarfsprofil d6, Aktivität a6</p> <pre>"SELECT * , 'Statement6 Anaesthesie' as eventMessage "+"FROM PATTERN[EVERY co1=CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.CARBONDIOXIDEPATTERN) - > "+"co2=CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.CARBONDIOXIDEPATTERN) - > "+"co3=CTPE(patientID="+profile.getRootID()+" AND h3=EnumVitalSignType.CARBONDIOXIDEPATTERN)] "+"WHERE NOT(co3.SP1 > 45) AND NOT(co3.SP1 < 35) AND (co3.BP1 = EnumTrendType.DECREASING) AND (co2.BP1 = EnumTrendType.INCREASING) AND (co1.BP1 = EnumTrendType.INCREASING) "</pre>

Ein variabler Bestandteil der Statements ist der Patientenidentifizierer `patientID`. Des Weiteren benennt die Variable `X1` den patientenindividuellen Puls. Analog zu den Aktivitäten aus den anderen beiden Use Cases wurden auch für diesen Use Case Aktivitäten festgehalten. Diese sind über alle Patienten gleich definiert, da hier lediglich ein Empfänger (`RECIPIENT`) festgelegt werden muss.

7.2.5.4 Instanziierung der TILs

Die Instanziierung der TILs für den Use Case Anästhesieüberwachung erfolgte für die Vitalwerttypen Sauerstoffsättigung, Puls und den endtidaler CO_2 Druck. Die Wertebereiche zur Trendabstraktion sind in Anhang A10 skizziert.

Hierbei gelten für die Bereichsklassifikation (TP3) die nachfolgenden Anpassungen:

- TIL1 – Puls: Der Puls wird im Rahmen dieses Use Cases patientenspezifisch angepasst.
- TIL2 – Sauerstoffsättigung: Die Klassifikation der Sauerstoffsättigung erfolgt anhand der in Kapitel 7.2.2 genannten Grenzen.
- TIL3 – Endtidales CO_2 : Die Klassifikation der des partiellen CO_2 erfolgt anhand der in Kapitel 7.2.2 genannten Grenzen.

Zusammengefasst müssen für jeden Probanden drei TILs instanziiert werden.

7.3 Ausführung und Analyse der Use Cases

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die definierten Use Cases auf TiEE abgebildet wurden, erfolgt nun deren Ausführung und Analyse unter Anwendung der benannten Datensätze. Hierzu wird der nachfolgend beschriebene Versuchsaufbau umgesetzt. Der Aufbau besteht aus einem Client- und einem Server-System. Dem Client obliegt das Parsen der Datensätze und die Bereitstellung der so generierten Ereignisse, indem diese einem JMS-Kanal, wie in Kapitel 6 beschrieben, zugeführt werden. Der JMS-Kanal sowie die TiEE-Engine werden auf dem Server-System ausgeführt. Respektive erfolgt hier die Verarbeitung der eintreffenden Ereignisse. Die Soft- und Hardwarespezifikation der beiden Systeme lautet wie folgt:

- Client: Windows 7 Professional; Intel i5 660 QuadCore 3.33GHz; 8 GB RAM.
- Server: Windows Server 2012; Intel Xeon E5-2640 DualCore 2.50GHz; 4GB RAM.

Während der Ausführung werden verschiedene quantitative Parameter (u. a. Anzahl Ereignisse, Anzahl CTPes, benötigte Zeit) erfasst und visualisiert. Jede Testausführung erfolgt nach einem Neustart des Gesamtsystems, um möglichen Artefakten (z. B. Memory-Leaks) entgegenzuwirken. Die Interpretation und Bewertung unter Berücksichtigung der Evaluationsziele erfolgt in Kapitel 7.4.

7.3.1 Use Case: Anästhesieüberwachung

Zur Evaluation dieses Use Cases wurden insgesamt drei Datensätze, respektive drei Probanden, aus der Gesamtmenge von 32 Datensätzen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte anhand der Anzahl der Datenpunkte sowie dem charakteristischen Verlauf der Vitalwerte. Zur Verarbeitung wurde jeweils ein TIL-Profil pro Datensatz erzeugt. Die einzelnen TIL-Profile wurden, wie in Kapitel 7.2.5 beschrieben, instanziiert.

Datensatz 1 (UC Anästhesie/D1)

Der erste Datensatz beschreibt den Verlauf von Vitalwerten über einen Zeitraum von 15 Minuten. Insgesamt wurden innerhalb dieser Zeit 1014 Datenpunkte mit einer Abtastrate von einer Sekunde pro Vitalwerttyp erfasst. Bezugnehmend zum beschriebenen Testaufbau in Kapitel 7.2.5 finden zur Evaluation die Vitalwerttypen Puls, Sauerstoffsättigung und endtidales CO₂ Berücksichtigung. Somit werden theoretisch pro Sekunde 3 Ereignisse an TiEE gesendet. Fehlerbereinigt (z. B. markierte Fehlmessungen) erreichten TiEE insgesamt 3017 Ereignisse, wie in Abbildung 50 gezeigt. Die zuvor beschriebene Abbildung gibt des Weiteren Aufschluss über die Anzahl der generierten CTPes sowie der gefeuerten Aktivitäten. Die jeweiligen Verhältnisse zwischen den einzelnen Werten geben Aufschluss über das Maß an Datenreduktion und somit einer Verdichtung von Daten zu bedarfsgerechten Informationen. Insgesamt wurden aus den 3017 Ereignissen 194 CTPes generiert, d. h. die Trendberechnung

innerhalb der drei TILs hat entsprechend viele Trends erkannt. Die CTPEs wurden innerhalb der TIL-Profile auf Basis der formalisierten Informationsbedarfe weiter verarbeitet. Sofern ein Informationsbedarfsprofil erfüllt wurde, wurde die mit diesem verknüpfte Aktivität ausgelöst. Insgesamt wurden 153 Aktivitäten gefeuert, also Nachrichten an die definierten Akteure.

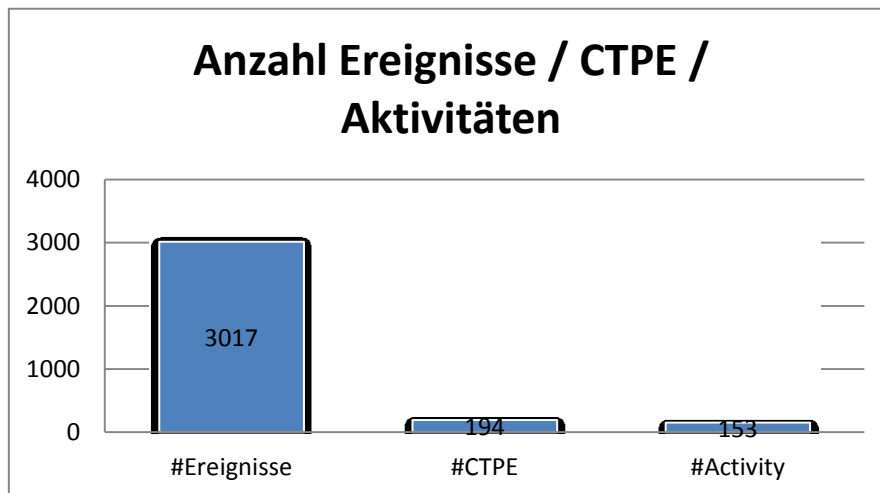


Abbildung 50: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D1).

Die Generierung von CTPEs durch die innerhalb des TIL-Profiles registrierten TILs ist nicht gleichverteilt, wie aus Abbildung 51 ersichtlich wird.

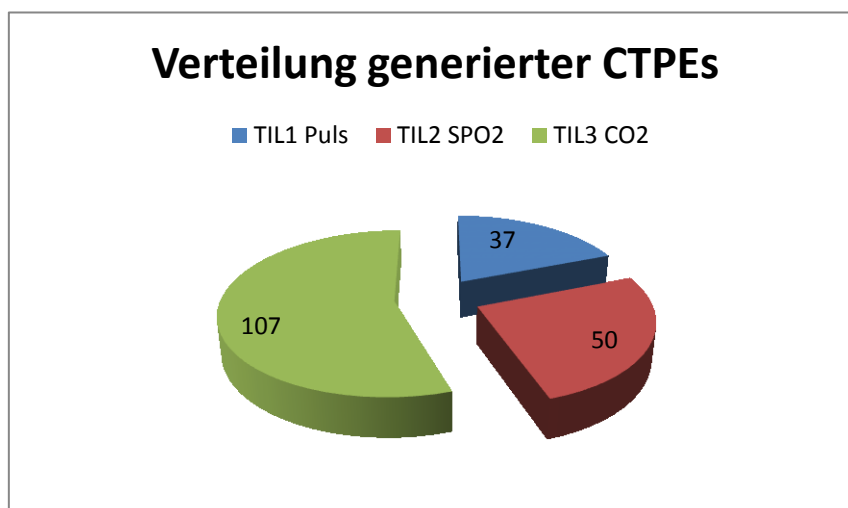


Abbildung 51: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D1).

Die gezeigte Verteilung resultiert aus der unterschiedlichen Variabilität der Vitalwertverläufe und somit eben auch der Anzahl an Trendwechselln. Hier dominiert deutlich das endtidale CO₂ mit 107 erkannten Trends, gefolgt von 50 Trends im Verlauf der Sauerstoffsättigung und 37 Trends im Pulsverlauf.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Verarbeitung ist die benötigte Zeit und deren Verteilung auf die einzelnen Verarbeitungsabschnitte. Unterschieden wurden hierzu:

- Transformation: Das eintreffende HL7 Telemedical Event Format wird durch Esper in eine interne Repräsentation bzw. Objektstruktur überführt.
- Filterung: Gemäß der Konzeption erfolgt eine patientenspezifische Filterung der eintreffenden Ereignisse bevor diese an die TILs weitergeleitet werden.
- Trendberechnung: Spezifiziert die benötigte Zeit zur Trendberechnung.
- CTPE-Routing: Zeit, die zur Erstellung eines CTPEs auf Basis eines erkannten Trends sowie dessen Weiterleitung an das jeweilige TIL-Profil benötigt wird.
- Activity-Verarbeitung: Benötigte Zeit zur Korrelation von eintreffenden CTPEs sowie Erstellung und Versand einer entsprechenden Nachricht, basierend auf dem jeweiligen Informationsbedarfsprofil.
- Sonstiges: Durch Esper benötigte Zeit zur Verwaltung und internen Weiterleitung, unabhängig von den in dieser Arbeit entwickelten Konzepten.

Die nachfolgenden Messungen werden in der Einheit Millisekunden (ms) angegeben. Die dominierenden Maxima bei der Transformation, dem CTPE-Routing sowie der Verarbeitung von Aktivitäten resultieren aus notwendigen Initialisierungsvorgängen zur Ansprache des JMS-Kanals.

Tabelle 74: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D1).

	Trans-formation	Filterung	Trend-berechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	33,15	3,70	9,52	16,22	76,02	16,48
Minimum	1,09	0,13	0,06	1,07	16,03	0,13
Mittel	1,86	0,25	0,12	2,38	22,20	0,41

Die prozentuale Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit ist in Abbildung 52 angegeben. Es zeigt sich hier, dass insbesondere das Auslösen der Aktivität einen Großteil der Zeit einnimmt. Das Auslösen umfasst die Korrelation und Verarbeitung der eintreffenden CTPEs, die Transformation dieser in eine Information sowie der Versand des Ergebnisses per JMS.

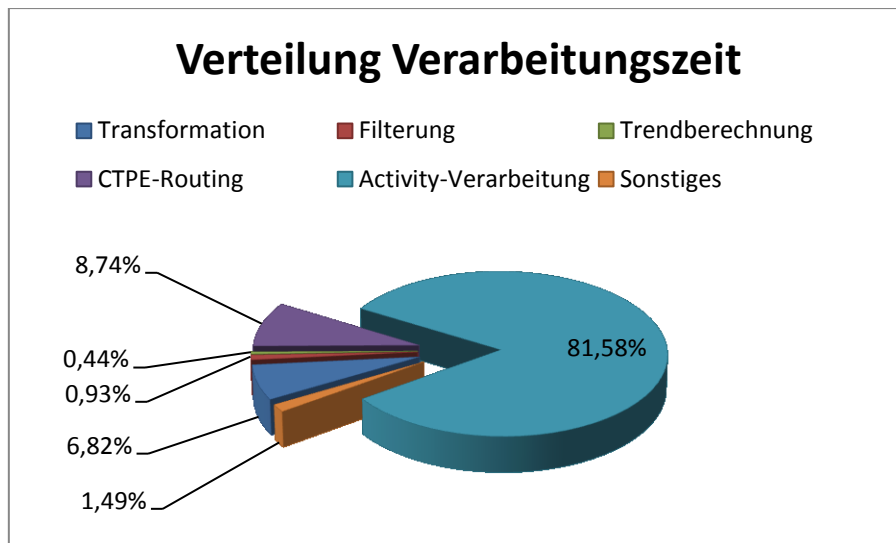


Abbildung 52: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D1).

Weitere dominierende Verarbeitungsabschnitte sind das CTPE-Routing sowie die Transformation. Insbesondere die Trendberechnung fällt nur unwesentlich ins Gewicht.

Datensatz 2 (UC Anästhesie/D2)

Der zweite Datensatz beschreibt den Verlauf von Vitalwerten über einen Zeitraum von zwei Stunden. Insgesamt wurden innerhalb dieser Zeit 3725 Datenpunkte mit einer Abtastrate von einer Sekunde pro Vitalwerttyp erfasst. Fehlerbereinigt erreichten TiEE insgesamt 10349 Ereignisse, wie in Abbildung 56 gezeigt.

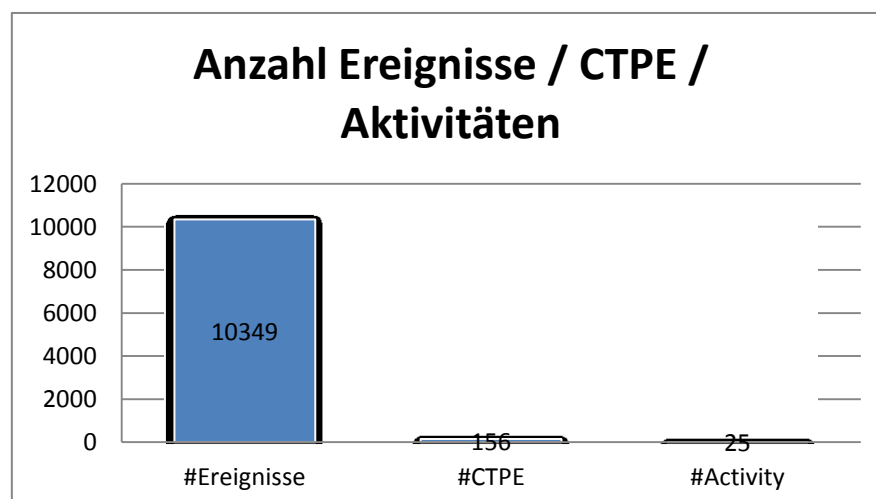


Abbildung 53: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D2).

Die zuvor beschriebene Abbildung gibt des Weiteren Aufschluss über die Anzahl der CTPEs sowie der gefeuerten Aktivitäten. Insgesamt wurden aus den 10349 Ereignissen 156 CTPEs generiert. Die CTPEs wurden innerhalb der TIL-Profile auf Basis der formalisierten Informationsbedarfe weiter verarbeitet. Sofern ein Informationsbedarfsprofil erfüllt wurde, wurde die mit diesem verknüpften Aktivitäten ausgelöst. Insgesamt wurden 25 Aktivitäten gefeuert.

Analog zu dem zuvor analysierten Datensatz liegt auch hier keine Gleichverteilung vor, wie aus Abbildung 57 ersichtlich.

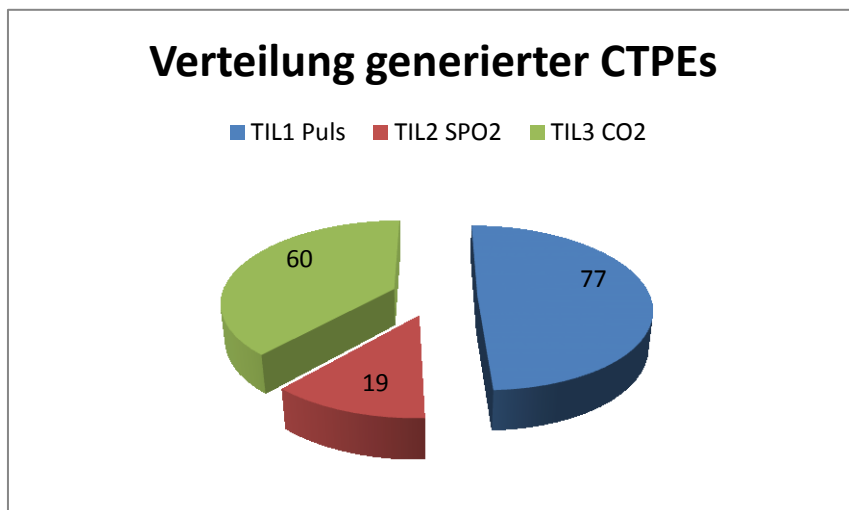


Abbildung 54: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D2).

Es wurden unterproportional wenige Trends im Vitalwertverlauf der Sauerstoffsättigung (O₂) erkannt. Wiederum wurden im Verlauf des Pulses sowie des endtidalen CO₂ ähnlich viele Trends erkannt. Dieses Verhalten ist auch im charakteristischen Verlauf (siehe A14, Datensatz 2) erkennbar.

Die Verteilung der Verarbeitungszeiten ist in der nachfolgenden Tabelle 76 in Millisekunden angeben.

Tabelle 75: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D2).

	Trans-formation	Filterung	Trend-berechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	538,13	25,09	10,22	7,86	2039,11	25,09
Minimum	0,77	0,05	0,03	0,85	19,33	0,05
Mittel	1,91	0,18	0,09	1,84	24,36	0,21

Wie bereits im Datensatz zuvor zeigt sich auch hier eine deutliche Dominanz bei der Activity-Verarbeitung (85,24 %), ebenfalls gefolgt von den Verarbeitungsabschnitten CTPE-Routing und Transformation. Mit einem Maximum von zwei Sekunden erreicht die Verarbei-

ung der Aktivitäten einen kritischen Wert, wird doch pro Sekunde ein neuer Wert gesendet. Eine unterbrechungsfreie Weiterverarbeitung ist somit nur durch Anwendung einer threadbasierten, parallelen Verarbeitung möglich.

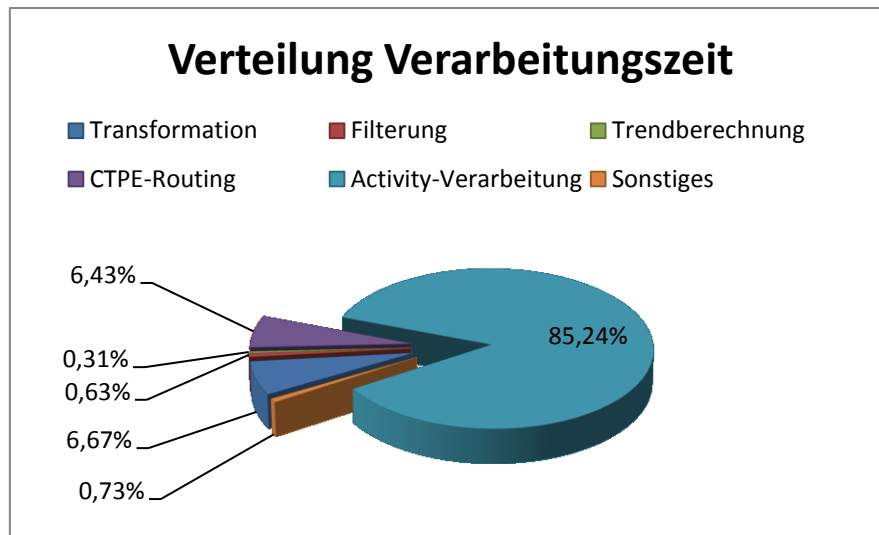


Abbildung 55: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D2).

Datensatz 3 (UC Anästhesie/D3)

Der dritte Datensatz beschreibt den Verlauf von Vitalwerten über einen Zeitraum von vier Stunden. Insgesamt wurden innerhalb dieser Zeit 15383 Datenpunkte mit einer Abtastrate von einer Sekunde pro Vitalwerttyp erfasst, wie in Abbildung 56 gezeigt.

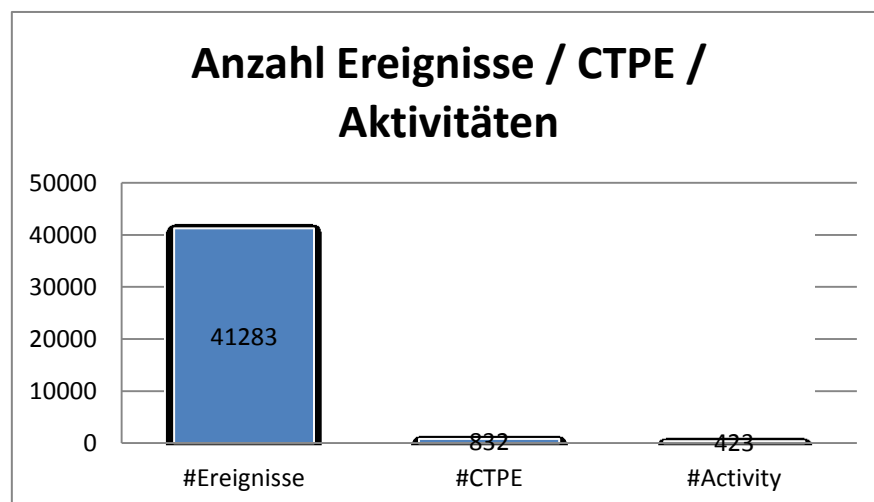


Abbildung 56: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Anästhesie/D3).

Fehlerbereinigt erreichten TiEE insgesamt 41285 Ereignissen. Die zuvor beschriebene Abbildung gibt des Weiteren Aufschluss über die Anzahl der CTPEs sowie der gefeuerten Aktivitäten. Insgesamt wurden aus den 41285 Ereignissen 832 CTPEs generiert. Die CTPEs wurden innerhalb der TIL-Profile auf Basis der formalisierten Informationsbedarfe weiterverarbeitet. Sofern ein Informationsbedarfsprofil erfüllt wurde, wurde die mit diesem verknüpfte Aktivität ausgelöst. Insgesamt wurden 423 Aktivitäten gefeuert.

Analog zu den letzten beiden Datensätzen liegt auch hier keine Gleichverteilung vor, wie aus Abbildung 57 ersichtlich. Während die Sauerstoffsättigung (O₂) und der endtidale CO₂ Wert fast gleichviele CTPEs erzeugen, so dominiert der Puls, wie auch aus dem charakteristischen Verlauf (siehe A14, Datensatz 3) ebenfalls erkennbar ist.

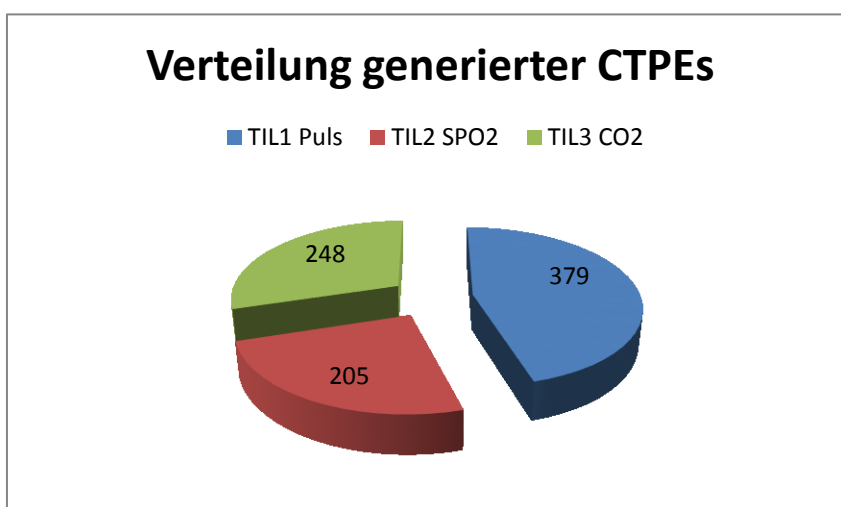


Abbildung 57: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Anästhesie/D3).

Verteilung der Verarbeitungszeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 76 in Millisekunden angeben.

Tabelle 76: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Anästhesie/D3).

	Trans-formation	Filterung	Trend-berechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	40,11	24,22	8,72	10,99	2203,29	24,22
Minimum	0,53	0,02	0,02	0,70	14,05	0,02
Mittel	1,56	0,10	0,06	1,62	26,17	0,14

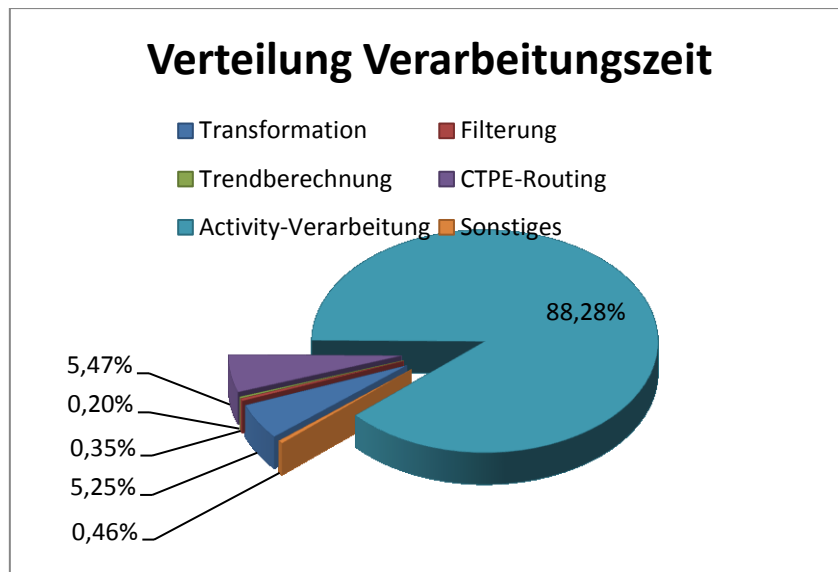


Abbildung 58: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Anästhesie/D3).

Wie bereits bei den anderen beiden Datensätzen zeigt sich auch hier, dass die Verarbeitung der Aktivitäten mit 88,28 % den größten zeitlichen Anteil einnimmt. Die Transformation und das CTPE-Routing folgen. Analog zum Datensatz 2 sind auch hier prägnante Maxima bei der Transformation und der Verarbeitung von Aktivitäten erkennbar.

7.3.2 Use Case: FitPit

Die Evaluation von TiEE auf Basis des FitPit Datensatzes umfasst Daten von insgesamt 15 Probanden, wobei 10 zur Verarbeitung durch TiEE selektiert wurden. Die Auswahl erfolgte anhand der Anzahl der Datenpunkte sowie dem charakteristischen Verlauf der Vitalwerte. Pro Proband wurde jeweils ein TIL-Profil, wie in Kapitel 7.2.5 beschrieben, instanziiert. Die Messungen erfolgten innerhalb eines Zeitraums von drei Monaten. Insgesamt wurden innerhalb dieser Zeit 2445 Datenpunkte (ungefilterte Ereignisse) erfasst, wie in Abbildung 59 dargestellt. Hierin sind die Datenpunkte der aussortierten Datensätze inkludiert. Respektive wurden 237 Ereignisse auf Basis der patientenspezifischen Filterregeln der TIL-Profile abgewiesen, da es zu diesen kein entsprechendes Profil gab. Durch die registrierten TIL-Profile wurden 2208 Ereignisse verarbeitet aus welchen 276 CTPEs (innerhalb der TILs berechneten Trends) generiert wurden. Die CTPEs wurden innerhalb der TIL-Profile auf Basis der formalisierten Informationsbedarfe weiter verarbeitet. Insgesamt konnten jedoch nur acht Aktivitäten gefeuert werden. Die jeweiligen Verhältnisse zwischen den einzelnen Werten geben Aufschluss über das Maß an Datenreduktion und somit einer Verdichtung von Daten zu bedarfsgerechten Informationen.

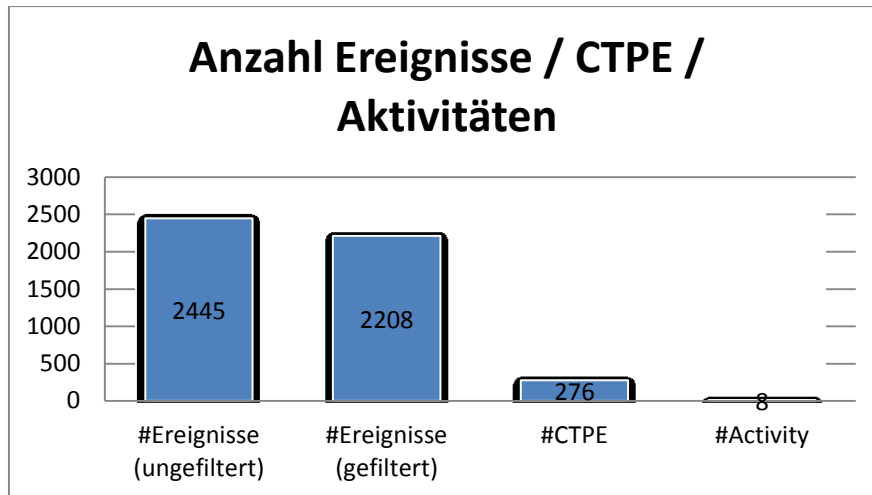


Abbildung 59: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPÉs und gefeuerten Aktivitäten (UC FitPit).

In der nachfolgenden Abbildung 60 sind die Häufigkeiten für die verarbeiteten Ereignisse, erkannten CTPÉs sowie Aktivitäten auf die einzelnen Probanden aufgeteilt.

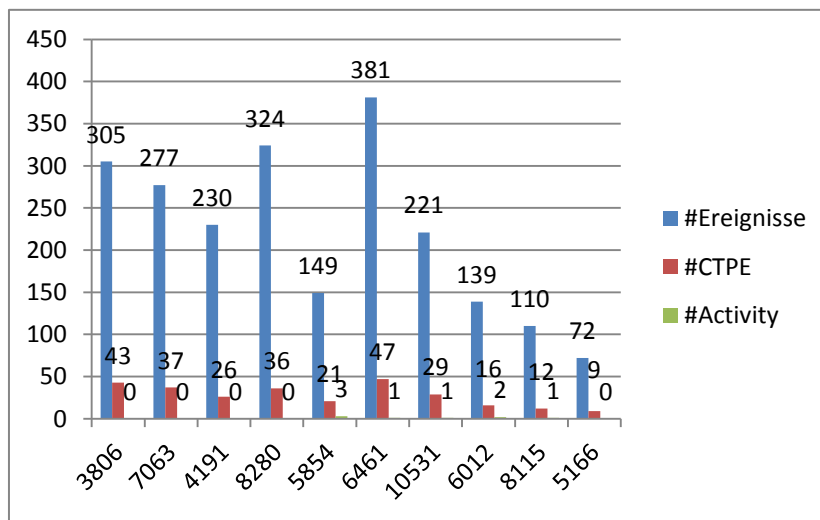


Abbildung 60: Verteilung der verarbeiteten Ereignisse, CTPÉs und Aktivitäten auf die einzelnen Probanden (UC FitPit).

Es zeigt sich, dass die Anzahl der Eingangsereignisse nicht zwingend zu einer höheren Anzahl an erkannten Trends (CTPÉs) bzw. Aktivitäten führt. Dies ist auf eine hohe Anzahl an gleichbleibenden Trends zurückzuführen, für welche es innerhalb der Informationsbedarfprofile keine Regeln zur Weiterverarbeitung gibt. So weist der Proband Nr. 5854 hohe Schwankungen innerhalb der Vitalwertverläufe auf, welche wiederum zu einer verhältnismäßig hohen Anzahl an CTPÉs und nachgelagerten Aktivitäten führen.

Die Anzahl der innerhalb der vier Vitalwerttypen erkannten CTPEs ist nicht gleichverteilt, wie aus Abbildung 57 ersichtlich wird. Es wurden unterproportional wenige Trends im Vitalwertverlauf des Blutdrucks dafür wiederum überproportional viele im Verlauf der Sauerstoffsättigung (O₂) erkannt. Eine Begründung lässt sich in einer nicht optimalen Parametrierung des Algorithmus finden, da zu viele gleichbleibende Trends als CTPEs gefeuert wurden. Die Sauerstoffsättigung besitzt nämlich zumeist nur eine geringe Varianz innerhalb des Werteverlaufs.

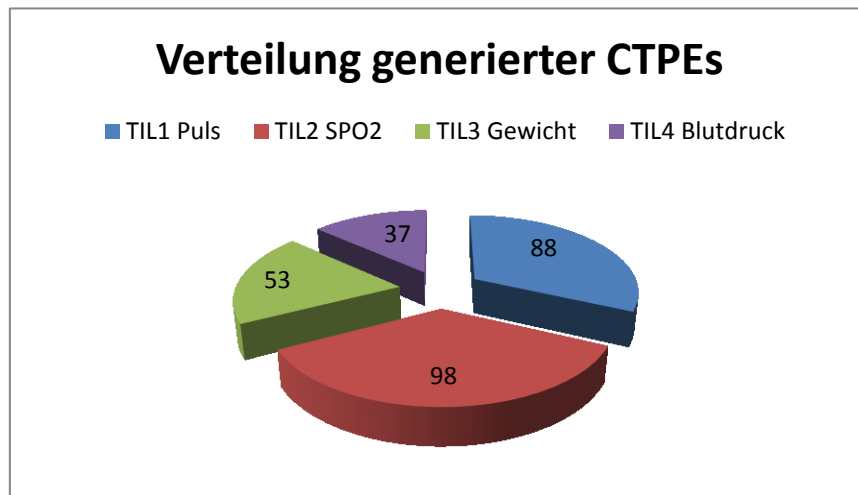


Abbildung 61: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC FitPit).

Die mittleren Verarbeitungszeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 77 in Millisekunden angegeben.

Tabelle 77: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC FitPit).

	Transformation	Filterung	Trendberechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	33,55	35,03	8,19	10,95	1905,29	35,03
Minimum	1,25	0,05	0,07	1,04	20,50	0,05
Mittel	1,94	0,26	0,15	1,70	296,45	0,44

Die prozentuale Verteilung in Abbildung 62 zeigt, dass auch hier die benötigte Zeit zur Verarbeitung von Aktivitäten dominiert, bedingt durch die notwendige Korrelation von CTPEs und dem nachfolgenden Versand einer Nachricht per JMS. Es folgen das CTPE-Routing sowie die Transformation. Kritisch ist hier, dass die notwendige Zeit zur Activity-Verarbeitung gerade im Mittel hoch bleibt. Dies ist jedoch auch der geringen Anzahl an gefeuerten Aktivitäten geschuldet.

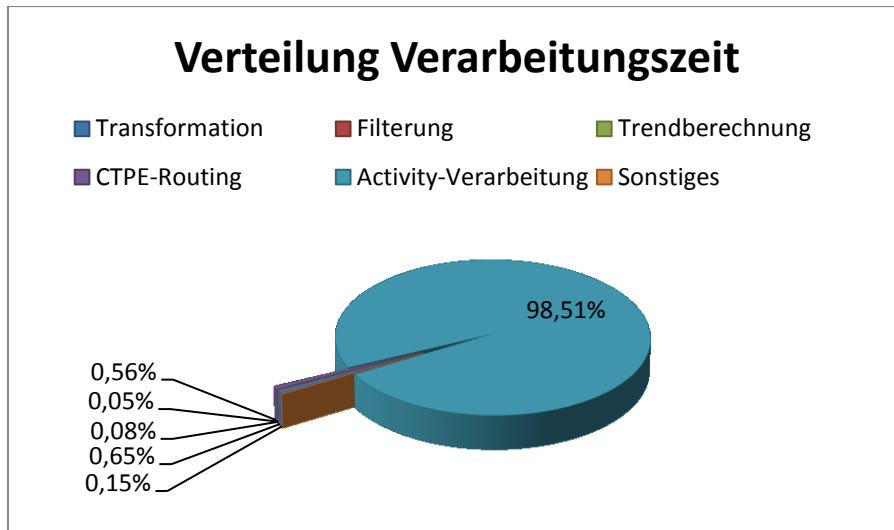


Abbildung 62: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC FitPit).

7.3.3 Use Case: Adipositas-Begleiter

Der Datensatz des Adipositas-Projekts umfasst Daten von insgesamt 10 Probanden, wobei 6 zur Verarbeitung durch TiEE selektiert wurden. Die Auswahl erfolgte anhand der Anzahl der Datenpunkte sowie dem charakteristischen Verlauf der Vitalwerte. Nachfolgend wurde für die sechs Probanden jeweils ein TIL-Profil, wie in Kapitel 7.2.5 beschrieben, instanziiert. Die Messungen erfolgten innerhalb eines Zeitraums von acht Monaten. Insgesamt wurden innerhalb dieser Zeit 858 Datenpunkte (ungefilterte Ereignisse) erfasst, wie in Abbildung 63 dargestellt.

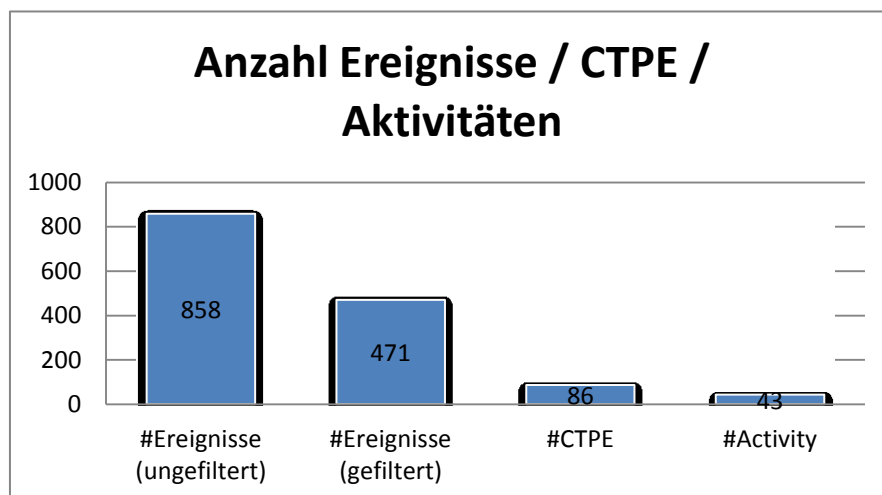


Abbildung 63: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Adipositas).

Hierin sind die Datenpunkte der aussortierten Datensätze inkludiert. Respektive wurden 387 Ereignisse auf Basis der patientenspezifischen Filterregeln der TIL-Profile abgewiesen, da es zu diesen kein entsprechendes Profil gab. Durch die registrierten TIL-Profile wurden 471 Ereignisse verarbeitet, aus welchen 86 CTPEs (innerhalb der TILs berechnete Trends) generiert wurden. Auf Basis der CTPEs konnten 43 Aktivitäten gefeuert werden. Die Verhältnisse zwischen der Anzahl an Ereignissen, CTPEs und Aktivitäten ist gleichzeitig ein Maß der Informationsverdichtung, welches durch die Komplexität des hinterlegten Informationsbedarfsprofils beeinflusst wird.

Die Aufteilung der probandenspezifischen Häufigkeiten der verarbeiteten Ereignisse, erkannten CTPEs sowie Aktivitäten ist in Abbildung 64 dargestellt. Im Gegensatz zum FitPit Datensatz zeigt sich hier, dass es anscheinend einen Zusammenhang zwischen der Anzahl an eintreffenden Ereignissen und der hieraus resultierenden Anzahl an CTPEs gibt.

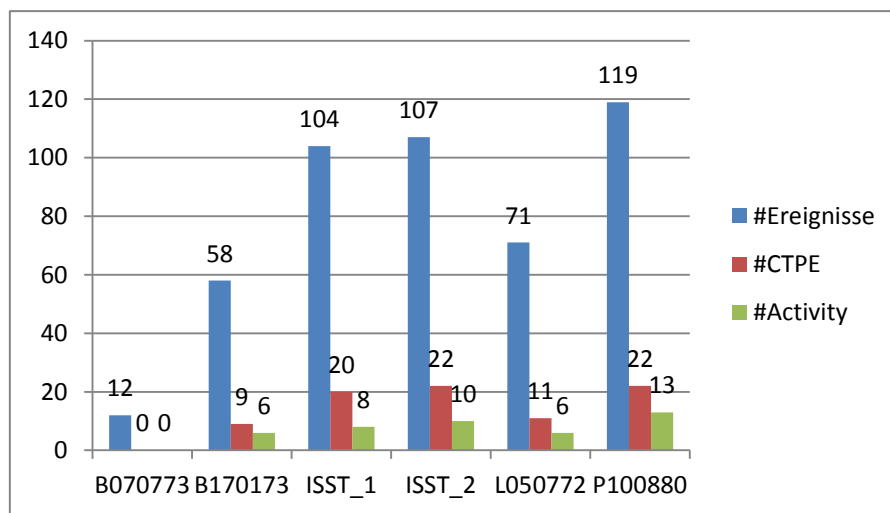


Abbildung 64: Verteilung der verarbeiteten Ereignisse, CTPEs und Aktivitäten auf die einzelnen Probanden (UC Adipositas).

Eine mögliche Erklärung kann aus der nachfolgenden Abbildung 65 zur Verteilung der generierten CTPEs abgeleitet werden. Die hier erkennbare Gleichverteilung auf die drei Vitalwerttypen erfordert Ähnlichkeiten in den Vitalwertverläufen der einzelnen Patienten. Des Weiteren führt eine solche Gleichverteilung auch zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, dass komplexere Muster zur Generierung von Aktivitäten abgeleitet werden können.

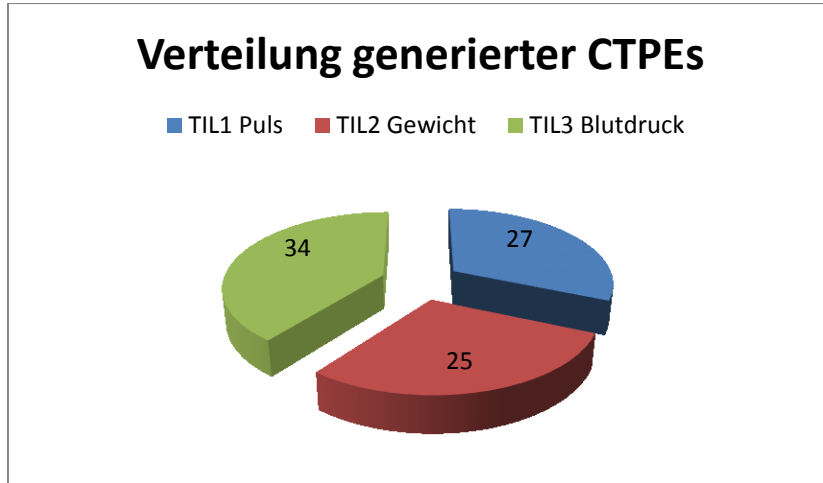


Abbildung 65: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Adipositas).

Die mittleren Verarbeitungszeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 78 in Millisekunden angegeben.

Tabelle 78: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Adipositas).

	Transformation	Filterung	Trendberechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	18,12	0,64	8,20	12,21	2009,50	12,58
Minimum	1,41	0,21	0,10	1,92	18,46	0,21
Mittel	2,16	0,34	0,25	3,35	23,48	0,96

Analog zu den prozentualen Verteilungen der zuvor gezeigten Use Cases kann auch hier die zeitliche Dominanz zur Verarbeitung von Aktivitäten hervorgehoben werden (siehe Abbildung 66).

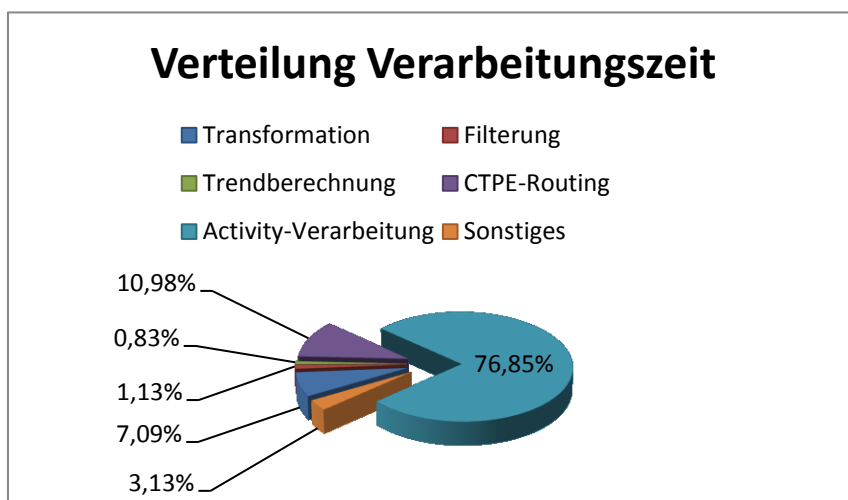


Abbildung 66: Verteilung der mittleren Verarbeitungszeit (UC Adipositas).

Aus der zuletzt gezeigten Abbildung lässt sich ersehen, dass das CTPE-Routing sowie die notwendigen zeitlichen Aufwendungen zur Transformation klar dominieren.

7.3.4 Performanceanalyse

Ein ereignisverarbeitendes System muss dazu ausgerichtet sein, eine hohe Anzahl an Ereignissen in kurzer Zeit zu verarbeiten. Hierzu muss auf verschiedene Lastsituationen in einer Art und Weise reagiert werden, dass das System nicht an Stabilität einbüßt. Instabilität kann im schlimmsten Fall zu einem Verlust von mehreren Millionen Ereignissen führen. Aus diesem Grund wurden in der Konzeption von TiEE Mechanismen berücksichtigt, um eben solchen Situationen vorzubeugen. Mit Esper wird eine etablierte Event Processing Engine eingesetzt, die über integrale Lastverteilungsstrategien verfügt. Durch den Einsatz von JMS als Technologie zur Verteilung von Nachrichten und Ereignissen, kann auch bei Ausfall der EPN oder des Kommunikationskanals selbst eine Wiederherstellbarkeit der Ereignisse gewährleistet werden.

Im Folgenden soll TiEE mit einer hohen Anzahl gleichzeitig eintreffender Ereignisse penetriert werden. Insgesamt wurden zur Performanceanalyse 1.035.381 Ereignisse an TiEE gesendet, wie in Abbildung 67 gezeigt. Als Datenquelle fungierte der Volldatensatz zu Datensatz 2 des Use Cases Anästhesieüberwachung (siehe hierzu auch Trenddatensatz Kapitel 7.3.1). Innerhalb dieses Datensatzes wurden 1512 Trends erkannt aus welchen 187 Aktivitäten abgeleitet wurden.

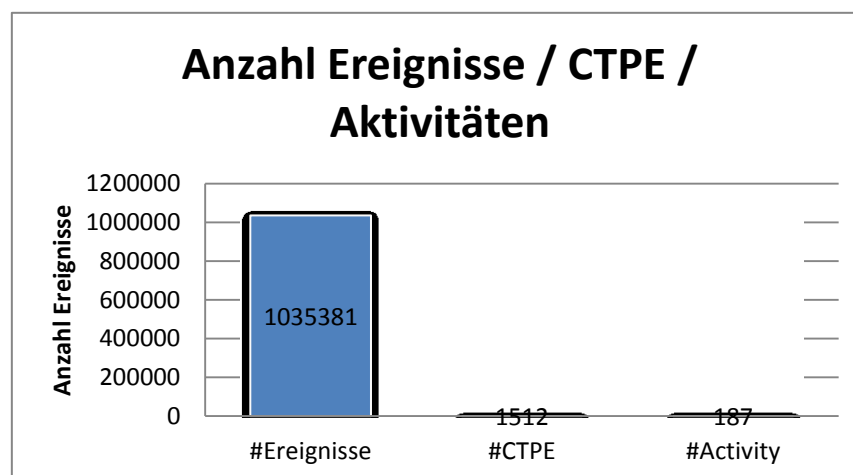


Abbildung 67: Anzahl der an TiEE gesendeten Ereignisse sowie die hieraus resultierende Anzahl an CTPEs und gefeuerten Aktivitäten (UC Performance).

Analog zum Trenddatensatz ist auch beim Volldatensatz eine Dominanz erkannter Trends für die Vitalwerttypen Puls und endtidales CO₂ erkennbar. Aufgrund des konstanten Verlaufs der Sauerstoffsättigung wurden hier nur wenige Trends erkannt.

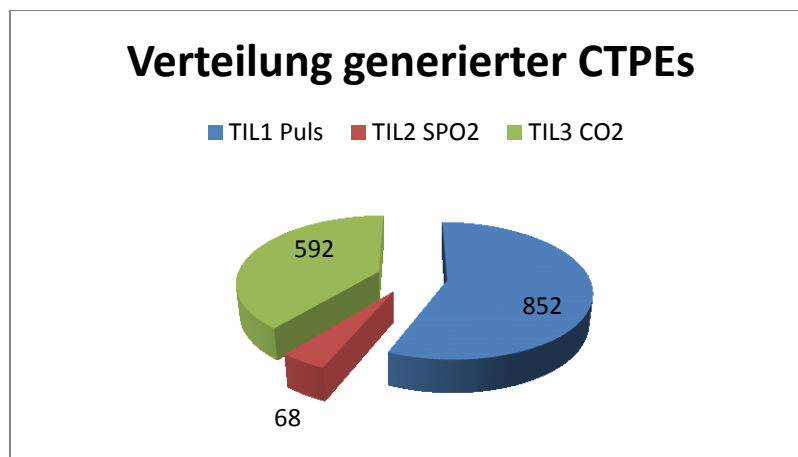


Abbildung 68: Verteilung der innerhalb der TIL-Profile generierten CTPEs (UC Performance).

Die Verarbeitungszeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 79 in Millisekunden angegeben. Es zeigt sich, wie bereits bei den zuvor durchgeführten Analysen, ein Maximum bei der Verarbeitung von CTPEs zur Ableitung von Aktivitäten mit einem Wert von 3826 ms bzw. 61 ms im Durchschnitt. Es folgen das CTPE-Routing mit durchschnittlich 1,25 ms und die Transformation mit ca. 1,23 ms.

Tabelle 79: Verarbeitungszeiten in Millisekunden TiEE (UC Performance).

	Trans-formation	Filterung	Trend-berechnung	CTPE-Routing	Activity-Verarbeitung	Sonstiges
Maximum	1354,27	43,83	85,75	33,30	3826,08	43,83
Minimum	0,51	0,02	0,02	0,62	15,43	0,02
Mittel	1,23	0,07	0,05	1,25	61,72	0,07

In Abbildung 69 erfolgt eine vergleichende Darstellung der mittleren Verarbeitungszeit zwischen Voll- und Trenddatensatz. Es zeigt sich hier, dass die Verarbeitungszeiten unabhängig von der Anzahl der gesendeten Ereignisse sind. So nimmt die mittlere Verarbeitungszeit beim Volldatensatz sogar ab. Lediglich bei der Verarbeitung der Aktivitäten ist ein Ausreißer erkennbar. Dies wird auf Speicherartefakte zurückgeführt, die beim Versand von Informationen per JMS entstehen können.

Zur Penetration des Systems wurden die Ereignisse ohne die durch die Abtastung von 10 ms bedingte Verzögerung direkt an den JMS-Kanal gesendet und dort gespeichert. Die hierzu benötigte Zeit betrug 43 Minuten. Im Mittel benötigt die Bereitstellung eines Events im JMS-Kanal 2,5 ms, wie in Abbildung 70 gezeigt. Das Auslesen aus dem JMS-Kanal zur nachgelagerten Verarbeitung in TiEE erforderte 25 Minuten mit einer mittleren Zeit von 1,47 ms pro Event. Die Verarbeitung eines telemedizinischen Ereignisses durch TiEE selbst erfordert eine Aufwendung von 60ms pro Event. Somit ergibt sich ein zeitlicher Gesamtaufwand von ca. 64ms pro telemedizinischem Ereignis.

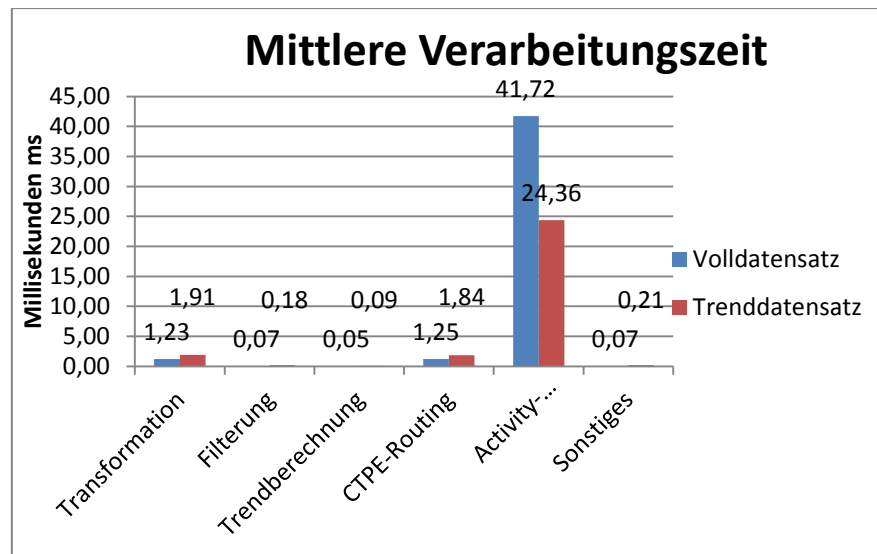


Abbildung 69: Vergleich der mittleren Verarbeitungszeit zwischen Voll- und Trenddatensatz.

Zur Validierung der Ergebnisse wurde neben dem Standardaufbau, wie zu Beginn des Kapitels 7.3 beschrieben, ein weiterer Aufbau zur Bewertung des Einflusses von Netzwerklatenzen umgesetzt. Hierzu erfolgte die Bereitstellung der Ereignisse direkt auf dem Serversystem, indem diese dort in den JMS-Kanal geschrieben und nachgelagert verarbeitet werden. Anhand der in Abbildung 70 dargestellten Ergebnisse ist keine Performancesteigerung erkennbar. Respektive spielen Netzwerklatenzen nur eine untergeordnete Rolle. Jedoch ist ein Performanceeinbruch bei den lesenden Zugriffen erkennbar

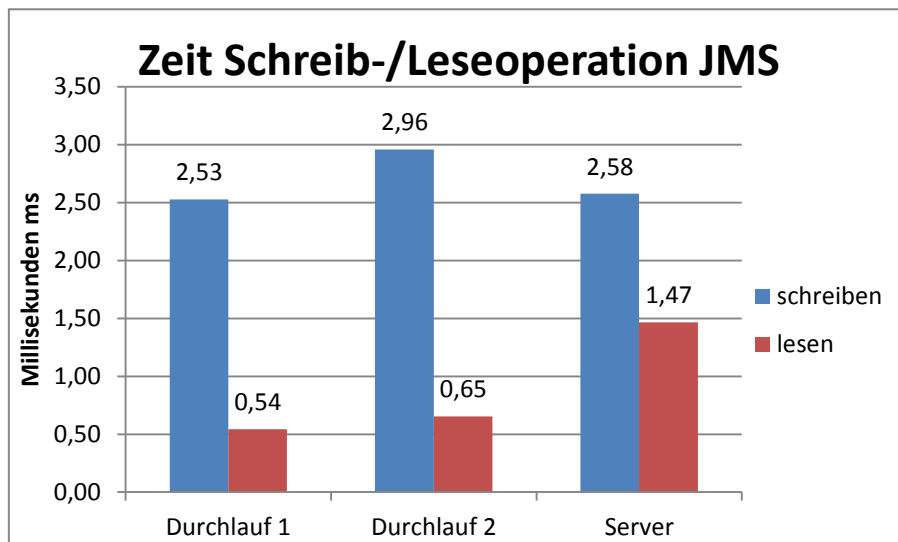


Abbildung 70: Benötigte Zeit zur Bereitstellung, Entnahme und Verarbeitung der Ereignisse unter Nutzung des JMS-Kanals.

7.4 Interpretation und Bewertung der Ergebnis

Nachdem nunmehr die definierten Use Cases auf Basis von TiEE abgebildet und unter Anwendung der vorgegebenen Datensätze quantitativ analysiert wurden, gilt es im Rahmen dieses Kapitels, die erzielten Ergebnisse qualitativ auf die definierten Evaluationsziele abzubilden.

Evaluationsziel 1: *Das erste Evaluationsziel nimmt sich der Nachweisbarkeit zur Abbildbarkeit telemedizinischer Fragestellungen mithilfe der entwickelten Konzepte an.*

Innerhalb des Kapitels 7.2 erfolgte hierzu eine Umsetzung der in Kapitel 2.4 fachlich definierten Use Cases. Mithilfe des Clinical Algorithm Standards wurden Informationsbedarfprofile grafisch modelliert und nachgelagert auf die Konzepte der TIL-Profile und TILs abgebildet. Die Abbildung umfasste die Transformation der fachlichen Abhängigkeiten und Korrelation zur Vitalwertanalyse in für TiEE verarbeitbare Statements sowie einer Parametrierung des Trenderkennungsalgorithmus. Bei der Transformation handelt es sich derzeit noch um einen manuell durchzuführenden Prozess, welcher sich auch auf das Evaluationsziel 2 auswirkt. Die nachfolgende Analyse, respektive die Anwendung der zur Verfügung stehenden Datensätze auf die registrierten TIL-Profile und TILs zeigten, dass eine Verarbeitung eintreffender telemedizinischer Ereignisse möglich ist. Existierende Algorithmen, hier auf Basis des CUSUM Prinzips, können innerhalb der TILs zur Trenderkennung eingesetzt werden, womit ein wesentlicher Bestandteil des Evaluationsziels erfüllt wird. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass einer Informationsübersorgung mithilfe von TiEE entgegenwirken kann. Auf Basis der erkannten CTPEs konnten Aktivitäten ausgelöst und in bedarfsgerechte Informationen überführt werden. Die Analyseergebnisse zeigen, dass die Datenreduktion in der ersten Stufe (Ereignis zu CTPE) mindestens Faktor zehn beträgt. Eine weitere Reduktion erfolgt in der zweiten Stufe (CTPE zu Aktivität) mit mindestens Faktor sechs. Am Beispiel des Performancedatensatzes wurden aus den 1.035.381 Ereignissen lediglich 187 Aktivitäten gefeuert. Dies entspricht einer Reduktion um den Faktor 5000. Durch Parametrierung des existierenden Algorithmus oder Einsatz anderer Verfahren erscheinen weitere Optimierungen möglich. Somit können auch die weiteren Bestandteile zur Bestätigung des Evaluationsziels erfüllt werden.

Zusammenfassend: Mithilfe von TiEE können existierende telemedizinische Fragestellungen auf eine technische Lösung zur Analyse von Vitalwertdaten abgebildet werden.

Evaluationsziel 2: *Im Rahmen dieses Evaluationsziels gilt es nachzuweisen, dass mithilfe von TiEE der Aufwand zur Bereitstellung von Analysemethoden zur Lösung telemedizinischer Fragestellungen minimiert werden kann.*

Insbesondere zeitliche Aspekte sowie Aspekte zur Modularisierung und Flexibilisierung spielen zur Bewertung der Zielerreichung diese Evaluationsziels eine entscheidende Rolle. Mit TiEE wurde eine Analyseinfrastruktur bestehend aus Schnittstellen, einem Datenspeicher sowie Middleware-Komponenten zum Transport und zur Verarbeitung konzipiert und implementiert. Somit entfallen durch den Einsatz von TiEE notwendige Implementierungsaufwendungen zur Bereitstellung einer Basisinfrastruktur. Durch die Abbildung der Use Cases auf TiEE konnte gezeigt werden, dass eine Vielzahl verschiedener fachlicher Fragestellungen ohne notwendige Implementierungsaufwendungen realisiert werden können. Hierbei wurde eine Menge von TILs für die verschiedenen Vitalwerttypen realisiert. Da ein TIL patientenunspezifisch operiert, konnte ein einmal implementierter TIL in mehreren Use Cases eingesetzt werden. Dies lässt sich am Beispiel des Vitalwerttyps Puls belegen, welcher in allen drei Use Cases verarbeitet werden musste. Es galt hierbei jedoch den zugrundeliegenden Algorithmus Vitalwerttyp-spezifisch sowie Use Case-spezifisch zu parametrieren, denn abhängig von den Daten muss die Sensitivität zur Erkennung von Trends angepasst werden. Gleichwohl entfallen hierdurch notwendige Aufwendungen zur Neuimplementierung und forcieren die Wiederverwendbarkeit einmal entwickelter Analysebausteine. Diese können im Sinne eines Analysebaustein-Repositories bzw. Best-Practice Lösungen zukünftig zur Verfügung gestellt werden.

Kritisch ist derzeit jedoch anzumerken, dass der Transformationsprozess von der Fachlichkeit (fachliche Zusammenhänge zwischen Vitalwerten) hin zur Technizität (Abbildung auf TiEE) noch manuell durchzuführen ist. Mithilfe des Clinical Algorithm Standards wurde jedoch gezeigt, dass eine grafische Modellierung und somit auch eine spätere Automatisierung der Abbildung möglich sind.

Zusammenfassend: TiEE ermöglicht die Minimierung von Implementierungsaufwendungen zur Realisierung einer Verarbeitung telemedizinischer Fragestellungen. Dies gelingt insbesondere durch die Bereitstellung von modularen und wiederverwendbaren Analysebausteinen (TILs).

Evaluationsziel 3: *Die Analyse von Vitalwertdaten erfordert ein hohes Maß an Stabilität und Robustheit des eingesetzten Analysesystems, was es im Rahmen dieses Evaluationsziels nachzuweisen gilt.*

Telemedizinische Szenarien und die im Rahmen dieser zu beantwortenden Fragestellungen auf Basis von Vitalwerten erfordern die Verarbeitung einer großen Menge an Daten in kürzester Zeit. Kritische Situationen müssen direkt erkannt und durch Versand einer entsprechend Information veröffentlicht werden. Zu keiner Zeit darf es zu einem Verlust von Ereignissen kommen. Aus diesem Grund wurde das System einem Penetrationstest unterzogen. Innerhalb kürzester Zeit wurde das System mit über einer Millionen Ereignissen befeuert. Es konnte gezeigt werden, dass das System auch bei einer großen Anzahl von telemedizinischen

Ereignissen keine Leistungseinbußen zeigt. Die Verarbeitung eines einzelnen telemedizinischen Ereignisses erfolgt in ca. 64 ms. Pro Thread können somit bis zu 15 Events pro Sekunde verarbeitet werden. An dieser Stelle unterstützt Esper jedoch durch Multithreading sowie eine intelligente Lastverteilung bei Multi-Core- oder Clustersystemen. Zur Verhinderung von Verlusten bei Ausfall von TiEE wurde mit JMS ein robuster Transportkanal eingesetzt. Dieser erlaubt eine kontinuierliche Persistierung des eintreffenden telemedizinischen Ereignisses und stellt diese im Sinne einer Warteschlange TiEE zur Verfügung.

Kritisch anzumerken sind jedoch Performanceeinbußen bei der Verarbeitung von Aktivitäten. Es zeigte sich, dass die Korrelation von CTPes und die nachfolgende Bereitstellung einer Information per JMS zusammen bis zu zwei Sekunden in Anspruch nehmen können. Insbesondere initiale Schreib- und Lesezugriff auf den JMS-Kanal führen zu Latenzen, welche sich ggf. durch einen alternativen JMS-Provider oder aber Preinitialisierung beheben lassen. Hier bedarf es einer nachgelagerten Optimierung.

Zusammenfassend: Mit TiEE steht ein hochverfügbares und durch die zugrundeliegenden Technologien skalierbares Analysesystem für telemedizinische Fragestellungen zur Verfügung. Das System ist gegenüber Ausfällen abgesichert.

***Evaluationsziel 4:** Dieses Evaluationsziel dient der Bewertung von Chancen und Risiken der entwickelten Konzepte zur Verarbeitung telemedizinischer Fragestellungen.*

Mit TiEE und den zugrundeliegenden Konzepten des telemedizinischen Ereignisses, der TIL-Profilen sowie der TILs wird ein potenzielles System zur Verarbeitung telemedizinischer Fragestellungen auf Basis von Vitalwerten zur Verfügung gestellt. Aus diesem System erwachsen Möglichkeiten für den Bereich der Datenverarbeitung. Gleichwohl konnten, resultierend aus der Evaluation, auch Grenzen des derzeitigen Entwicklungsstands aufgezeigt werden. Die nachfolgend in Tabelle 80 gezeigte SWOT-Analyse für das TiEE System pointiert die existierenden Stärken und Schwächen und skizziert perspektivische Chancen und Risiken für die zukünftige Entwicklung.

Auf Basis dieser Tabelle lassen sich Anknüpfungspunkte zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Systems ableiten. Hierauf soll im Verlauf der Abschlussdiskussion in Kapitel 8 näher eingegangen werden.

Tabelle 80: SWOT-Analyse für das TiEE System.

	<u>Stärken</u>	<u>Schwächen</u>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Basisinfrastruktur zur Datenanalyse. 2. Modularisierung der Verarbeitung. 3. Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit. 4. Reduzierung des Implementierungsaufwands. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konfiguration von Algorithmen. 2. Abbildung von Informationsbedarfsprofilen. 3. Leistungsfähigkeit des eingesetzten Algorithmus.
<u>Chancen</u>	SO-Strategie	WO-Strategie
<ol style="list-style-type: none"> 1. Beschleunigung der Datenverarbeitung. 2. Verhinderung einer Informationsübersversorgung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung der Versorgungsqualität durch Optimierung der Informationsversorgung. - Erweiterung um andere Sensortypen zur Bewertung der medizinischen Situation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung von IT-Modulen zur grafischen Modellierung von Informationsbedarfsprofilen.
<u>Risiken</u>	ST-Strategie	WT-Strategie
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medizinische Evidenz der getroffenen Aussagen. 2. Unzureichende Qualität erkannter Trends. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung des Systems um komplexere Algorithmen zur Trenderkennung. 	<ul style="list-style-type: none"> -Steigerung der medizinischen Evidenz durch Zusammenarbeit mit Medizinern. - Einsatz von lernenden Algorithmen zur automatischen Parametrierung.

Zusammenfassend: Es konnte gezeigt werden, dass TiEE Stärken und Schwächen besitzt jedoch auch Chancen und Risiken existieren, welche man im Rahmen der zukünftigen wissenschaftlichen Forschung und Erprobung des Systems berücksichtigen muss.

7.5 Zusammenfassung

Im Verlauf dieses Kapitels wurden das System TiEE und die diesem zugrunde liegenden Konzepte einer Evaluation unterzogen. Hierzu wurden vier wesentliche Evaluationsziele festgelegt. Auf Basis der drei definierten Use Cases FitPit, Adipositas-Begleiter und Anästhesieüberwachung erfolgten eine Instanziierung von TIL-Profilen sowie der Aufbau eines TIL Repositories. Nachfolgend wurden, abhängig vom Use Case, bis zu einer Millionen telemedizinischer Ereignisse an das System gesendet. Es konnte gezeigt werden, dass TiEE für die Verarbeitung von Ereignissen ca. 64 ms benötigt. Somit können pro Thread 15 Ereignisse pro Sekunde verarbeitet werden. Die TiEE zugrundeliegende Event Processing Engine Esper erlaubt jedoch ein intelligentes Multi-Threading sowie eine Lastverteilung, womit eine lineare Skalierung (Hardware) der verarbeitbaren Ereignisse möglich wird. Insbesondere initiale Lese- und Schreiboperationen auf dem JMS-Kanal führten zu größeren Latenzen.

Des Weiteren konnte im Rahmen der Evaluation gezeigt werden, dass durch den Einsatz von TiEE eine Reduktion der Informationsübersversorgung, respektive eine Informationsverdichtung, möglich ist. So konnte die Anzahl der an einen Akteur zu übersendenden Informationen um bis zu Faktor 5000 verringert werden.

Die abschließende SWOT-Analyse zeigte existierende Stärken und Schwächen sowie perspektivische Chancen und Risiken auf. Zu den Stärken zählen insbesondere das hohe Maß an Modularität und Erweiterbarkeit. Schwächen sind im eingesetzten Trenderkennungsalgorithmus sowie den Möglichkeiten zur automatischen Abbildung von Informationsbedarfen auf TiEE zu erkennen. In der abschließenden Diskussion sollen die sich hieraus ergebenden Verbesserungen zum vorherigen Stand der Forschung sowie die Übertragbarkeit und perspektivische Weiterentwicklung diskutiert werden.

8 Diskussion und Ausblick

Erste Abschätzungen für das Gesundheitswesen prognostizieren einen Anstieg an Daten von 500 Petabytes im Jahr 2012 auf 25.000 Petabytes im Jahr 2020 [FMS12]. Der BITKOM [Bun12] untermauert dieses und benennt eine jährliche Wachstumsrate an Daten von 40-50%. Frost& Sullivan [Fro12] haben die Daten innerhalb von Krankenhäusern auf 1 Milliarde Terabytes geschätzt und prognostizieren für das Jahr 2011 eine Datenmenge von 1.8 Zetabytes. Die zur Verfügung stehenden Daten zeichnen sich durch ein hohes Maß an Heterogenität aus. Sie bestehen aus semistrukturierten medizinischen Dokumenten (elektronische Patientenakten), hochfrequenten Echtzeitdaten (Vitalwertmonitoring) oder auch dynamischen Prozessdaten. Die Notwendigkeit zur manuellen Verarbeitung und Verdichtung eben dieser zu entscheidungsunterstützenden Informationen durch die einzelnen Akteure im Gesundheitswesen führt zu dem Gefühl einer Informationsübersorgung. Hierbei steht der zu erbringende Zeitaufwand in keinem Verhältnis zur Qualität der gewonnenen Informationen. Insbesondere im Bereich der Telemedizin ergeben sich verstärkt Bedarfe zur Unterstützung, da gerade hier eine große Menge an Daten in Form von Vitalwerten durch Mediziner und andere Therapeuten in kürzester Zeit verarbeitet werden muss.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden deshalb Konzepte entwickelt, die eine intelligente Verarbeitung von heterogen verteilten Vitalwerten ermöglichen. Zielsetzung war es, hierbei eben solche Daten derart zu filtern und verdichten, dass hieraus entscheidungsunterstützende Informationen entstehen und das Maß der Informationsübersorgung reduziert wird. Nachfolgend wird retrospektiv bewertet, inwieweit die Ergebnisse dieser Arbeit zu einer Verbesserung gegenüber dem bisherigen Stand der Forschung führen. Des Weiteren werden die Übertragbarkeit und der wissenschaftliche Anschluss skizziert. Abschließend erfolgt die Formulierung des Ausblicks.

8.1 Verbesserungen gegenüber vorherigem Stand

Die Telemedizin ermöglicht die Überwachung des physiologischen Zustands eines Patienten über Raum- und Zeitgrenzen hinweg. Insbesondere die kontinuierliche Dokumentation und Bewertung der Vitalwerte spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Abhängig von der Frequenz der Messungen sowie der Anzahl der Patienten, müssten durch einen einzelnen Akteur eine nicht mehr beherrschbare Menge an Werten begutachtet und bewertet werden. Respektive bedarf es einer IT-basierten Unterstützung bei der Filterung, Verarbeitung und Verdichtung der einzelnen Daten zu entscheidungsunterstützenden Informationen. Zur Realisierung eines solchen Systems wurden im Rahmen dieser Arbeit zwölf Kernanforderungen identifiziert (siehe Kapitel 4.2). Neben einer durchgängigen und bruchfreien Kommunikation, bedurfte es insbesondere Konzepte zur Verarbeitung heterogen verteilter Daten in Echtzeit. Die Verarbeitung musste derart realisiert werden, dass aus den Daten bedarfsgerechte Infor-

mationen resultieren. Da weder der physiologische Zustand eines Patienten noch der Bedarf eines Akteurs konstant über die Zeit ist, mussten die zu entwickelnden Konzepte ein hohes Maß an Flexibilität und Anpassbarkeit an die aktuelle Situation bereitstellen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb auf Basis der Forschungsbereiche der Informationslogistik und des Complex Event Processings existierende Konzepte erweitert und neue Konzepte entwickelt, um den Anforderungen gerecht zu werden. Der existierende Stand der Forschung, wie in Kapitel 3 erarbeitet, zeigte, dass es eine Vielzahl an singulären Lösungen zur Verarbeitung von Daten gibt. Hierbei handelte es sich um hoch spezialisierte Ansätze zur Bearbeitung eines singulären Problems. Drei wesentliche Aspekte fanden jedoch keine Berücksichtigung und verhinderten somit das Ziel einer bedarfsgerechten Informationsversorgung (siehe auch Kapitel 4.5):

- **Fehlende Standardisierung:** Die Erfassung von Vitalwerten kann über eine Vielzahl von Sensoren erfolgen. Die Bereitstellung der Daten erfolgt zumeist in einem beliebigen, proprietären Format. Somit wird eine geräte-, vitalwert- und infrastrukturübergreifende Verarbeitung verhindert.
- **Flexibilisierung und Modularisierung:** Sich ändernde Informationsbedarfe und Gesundheitszustände erfordern eine flexible Anpassung von Verarbeitungsregeln. Im Sinne der Aufwandsreduzierung gilt es, einmal entwickelte Verarbeitungsbausteine in gleich gearbeteten Szenarien wiederverwerten zu können.
- **Informationslogistische Verarbeitung:** Die rudimentäre Darstellung von Daten ist nicht hinreichend. Es bedarf einer Aufarbeitung dieser zu entscheidungsunterstützenden Informationen und eine Zustellung dieser an den richtigen Akteur, zur richtigen Zeit in der richtigen Form.

Im ersten Schritt hat sich diese Arbeit dem Problem der Heterogenität und Verteiltheit von Vitalwerten angenommen. Hierzu erfolgte die Standardisierung eines einheitlichen Formats zur Repräsentation von Vitalwerten in Form von Events auf Basis von HL7. HL7 als weltweiter Standard zur Beschreibung medizinischer Daten, ermöglicht eine Stärkung der Interoperabilität zwischen verschiedenen IT-Systemen. Das Ergebnis dieses ersten Arbeitsschritts ist das sog. HL7 Telemedical Event Format. Dieses Format erlaubt die übergreifende Beschreibung von Vitalwerten und notwendigen Parametern zur eventbasierten Verarbeitung. Der existierende Stand der Wissenschaft bot hier keine Lösungen, welche eine Beschreibung von Vitalwerten unter Berücksichtigung des Complex Event Processings ermöglichte. Somit geht diese Arbeit über den zu diesem Zeitpunkt bekannten Stand der wissenschaftlichen Forschung hinaus und erweitert diesen durch die Standardisierung von telemedizinischen Daten zum Zweck des CEPs.

Im nachfolgenden zweiten Schritt wurde der Fokus auf die Problemstellung einer nachhaltigen und situationsangepassten Verarbeitung gelegt. Der bis zu diesem Zeitpunkt bekannte

Stand der Wissenschaft erlaubte die Nutzung einer Vielzahl hoch spezialisierter Lösungen zur Verarbeitung von Vitalwerten. Das hohe Maß der Spezialisierung resultierte jedoch in wenig interoperablen und erweiterbaren, geschlossenen Systemen. Mithilfe des Forschungsbereichs CEP wurden deshalb im Rahmen dieser Arbeit die Konzepte der TIL-Profil und der TILs entwickelt. Ein TIL-Profil ist ein abgeschlossener, patientenspezifischer Verarbeitungsraum. Die TILs wiederum sind hochspezialisierte Bausteine zur Verarbeitung jeweils eines Vitalwerttyps. Das Ergebnis der Verarbeitung durch einen TIL ist das in dieser Arbeit spezifizierte CTPE, welches den derzeitigen Trendverlauf der Vitalwerte beschreibt. Das übergeordnete TIL-Profil aggregiert diese zu sog. Aktivitäten, welche schlussendlich eine spezifische Information beschreiben. Das Zusammenspiel beider Konzepte erlaubt die flexible, an die jeweilige Bedarfs- und Gesundheitssituation angepasste Instanziierung von Verarbeitungsblöcken. Hierbei erfolgt eine Abstraktion von den zugrundeliegenden Algorithmen. Die Konfiguration der Verarbeitung erfolgt über sog. Informationsbedarfsprofile. Diese erlauben die Beschreibung des Informationsbedarfs und spezifizieren das Zusammenspiel zwischen TIL-Profil und TILs. Zusammengefasst erweiterten die in diesem Schritt erzielten Ergebnisse den Stand der Wissenschaft, indem eine Flexibilisierung der Verarbeitung von Vitalwerten ermöglicht wird.

Der abschließende dritte Schritt setzte sich mit dem Bedarf der informationslogistischen Aufbereitung von Daten auseinander und steht in direktem Zusammenhang mit dem zuvor bearbeiteten Schritt. Im Verlauf der Aufarbeitung des gültigen Stands der Forschung zeigte sich, dass die hoch spezialisierten Lösungen zur Datenverarbeitung den Bedarf des einzelnen unberücksichtigt ließen. Datenverarbeitung sollte in der Bereitstellung bedarfsgerechter Informationen resultieren. Hierzu wurde das bereits zuvor beschriebene Konzept der Informationsbedarfsprofile eingeführt. Durch Spezialisierung des Clinical Algorithm Standards wurde eine grafische Beschreibung des Bedarfs realisiert, welcher sich durch Transformation auf die Konzepte der TIL-Profil und TILs abbilden lässt.

Zur Evaluation der Konzepte erfolgte eine Realisierung eben dieser, resultierend in der telemedizinischen ILOG Event Engine (TiEE). Die Evaluation zeigte, dass durch TiEE eine deutliche Reduktion der eintreffenden Daten realisiert werden kann. TiEE benötigt derzeit pro Event 64 ms zur Verarbeitung, womit pro Thread bis zu 15 Events pro Sekunde verarbeitet werden können. Gleichwohl entscheiden die eingesetzten Algorithmen zur Trenderkennung sowie die Parametrierung dieser mit über die Qualität der Entscheidungsunterstützung und somit abschließend als kritischer Punkt für anknüpfende Arbeiten hervorzuheben.

8.2 Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse, bereitgestellt über die implementierte telemedizinische ILOG Event-Engine, erlauben die Verarbeitung einer definierten Menge an telemedizinischen Er-

eignissen bzw. Vitalwerttypen. Ein wissenschaftlicher Anschluss zur Erweiterung der entwickelten Konzepte ist wie folgt denkbar:

- Erweiterung der Sensoren: Zur Fokussierung innerhalb dieser Arbeit wurden lediglich IEEE 11073-kompatible Sensoren berücksichtigt. Insbesondere die Erweiterung um Sensoren, die keine Vitalwerte erfassen jedoch einen Einfluss auf den Gesundheitszustand haben können (z.B. Außentemperatur), stellt ein hohes Potenzial dar.
- Berücksichtigung von Kontextinformationen: Die medizinische Situation eines Patienten wird nicht nur durch seine Vitalwerte beschrieben. Digitale Dokumente wie elektronische Patientenakten erlauben die Dokumentation einer Vielzahl von Kontextparametern. Die Berücksichtigung eben solcher kann zu einer Verbesserung der Relevanzbestimmung einer erkannten Situation innerhalb der Vitalwertverläufe führen.

Neben der Erweiterung ist auch eine Übertragbarkeit der Ergebnisse offensichtlich. Mit dem stärker werdenden Forschungsschwerpunkt sog. Cyber-physical Systems (CPS) wird der Einsatz intelligenter Sensorsysteme in unserem Alltag forciert [Bro10]. Die entwickelten Konzepte wurden so spezifiziert, dass nicht nur das HL7 Telemedical Event Format verarbeitet werden kann. So sind Spezialisierungen für andere Anwendungsbereiche denkbar.

8.3 Ausblick

Mit TiEE steht eine modulare und flexible ereignisbasierte Analyseinfrastruktur für sensorbasierte Werte zur Verfügung. Durch die Berücksichtigung informationslogistischer Grundkonzepte kann eine Verbesserung der Informationsversorgung, insbesondere unter Berücksichtigung der stetig wachsenden Datenmengen erreicht werden. Die in dieser Arbeit durchgeführte Evaluation zeigte bereits, dass Optimierungen möglich sind. Es bedarf nunmehr neben der technischen Evaluation insbesondere einer tiefergehenden fachlichen Evaluation zur Bewertung der Informationsqualität. Hierauf basierend werden insbesondere Anpassungen und Optimierungen der eingesetzten Algorithmen erfolgen.

Anhang

A1 CTPE

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element id="Header" name="Header">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="TrendPatternEventID"/>
        <xs:element ref="SimpleEvent"/>
        <xs:element ref="Vitalparameter"/>
        <xs:element ref="EventSource"/>
        <xs:element ref="PatientID"/>
        <xs:element ref="CreationTime"/>
        <xs:element ref="DetectionTime"/>
        <xs:element ref="ProcessTime"/>
        <xs:element ref="ReceivingResponsibility"/>
        <xs:element ref="EventAnnotation"/>
        <xs:element ref="EventTypeID"/>
        <xs:element ref="TimeEmitter"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element id="Body" name="Body">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element id="BasicParameter" name="BasicParameter">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="TrendType"/>
              <xs:element ref="Start"/>
              <xs:element ref="End"/>
              <xs:element ref="RespectedEvents"/>
              <xs:element ref="ExcludedEvents"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element id="StatisticalParameter" name="StatisticalParameter">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="Average"/>
              <xs:element ref="StandardDeviation"/>
              <xs:element ref="CorrelationCoefficient"/>
              <xs:element ref="Noise"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element id="TrendAbstractionParameter" name="TrendAbstractionParameter">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="RateOfIncrease"/>
              <xs:element ref="Speed"/>
              <xs:element ref="AreaClassification"/>
              <xs:element ref="Duration"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <!-- Header Start -->
  <xs:element id="TrendPatternEventID" name="TrendPatternEventID" type="xs:long"/>
  <xs:element id="SimpleEvent" name="SimpleEvent" type="xs:boolean" default="false"/>

```

```

<xs:element id="Vitalparameter" name="Vitalparameter">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="BLOODPRESSURE"/>
      <xs:enumeration value="HEARTRATE"/>
      <xs:enumeration value="WEIGHT"/>
      <xs:enumeration value="..."/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element id="EventSource" name="EventSource" type="xs:string"/>
<xs:element id="PatientID" name="PatientID" type="xs:long"/>
<xs:element id="CreationTime" name="CreationTime" type="xs:long"/>
<xs:element id="DetectionTime" name="DetectionTime" type="xs:long"/>
<xs:element id="ProcessTime" name="ProcessTime" type="xs:long"/>
<xs:element id="ReceivingResponsibility" name="ReceivingResponsibility">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element id="recipientId" name="recipientId" type="xs:long"/>
      <xs:element id="name" name="name" type="xs:string"/>
      <xs:element id="vorname" name="vorname" type="xs:string"/>
      <xs:element id="email" name="email" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element id="EventAnnotation" name="EventAnnotation" type="xs:string"/>
<xs:element id="EventTypeID" name="EventTypeID" type="xs:long"/>
<xs:element id="TimeEmitter" name="TimeEmitter" type="xs:string"/>
<!-- Header End -->

<!-- BasicParameter Start -->
<xs:element id="TrendType" name="TrendType">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="Fallend"/>
      <xs:enumeration value="Steigend"/>
      <xs:enumeration value="Sprung nach oben"/>
      <xs:enumeration value="Sprung nach unten"/>
      <xs:enumeration value="Gleichbleibend"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element id="Start" name="Start" type="xs:long"/>
<xs:element id="End" name="End" type="xs:long"/>
<xs:element id="RespectedEvents" name="RespectedEvents" type="xs:long"/>
<xs:element id="ExcludedEvents" name="ExcludedEvents" type="xs:long"/>
<!-- BasicParameter End -->

<!-- StatisticalParameter Start -->
<xs:element id="Average" name="Average" type="xs:double"/>
<xs:element id="StandardDeviation" name="StandardDeviation" type="xs:double"/>
<xs:element id="CorrelationCoefficient" name="CorrelationCoefficient" type="xs:double"/>
<xs:element id="Noise" name="Noise" type="xs:double"/>
<!-- StatisticalParameter End -->

<!-- TrendAbstractionParameter Start -->
<xs:element id="RateOfIncrease" name="RateOfIncrease">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="Null"/>
      <xs:enumeration value="Normal"/>
      <xs:enumeration value="Signifikant"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element id="Speed" name="Speed">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">

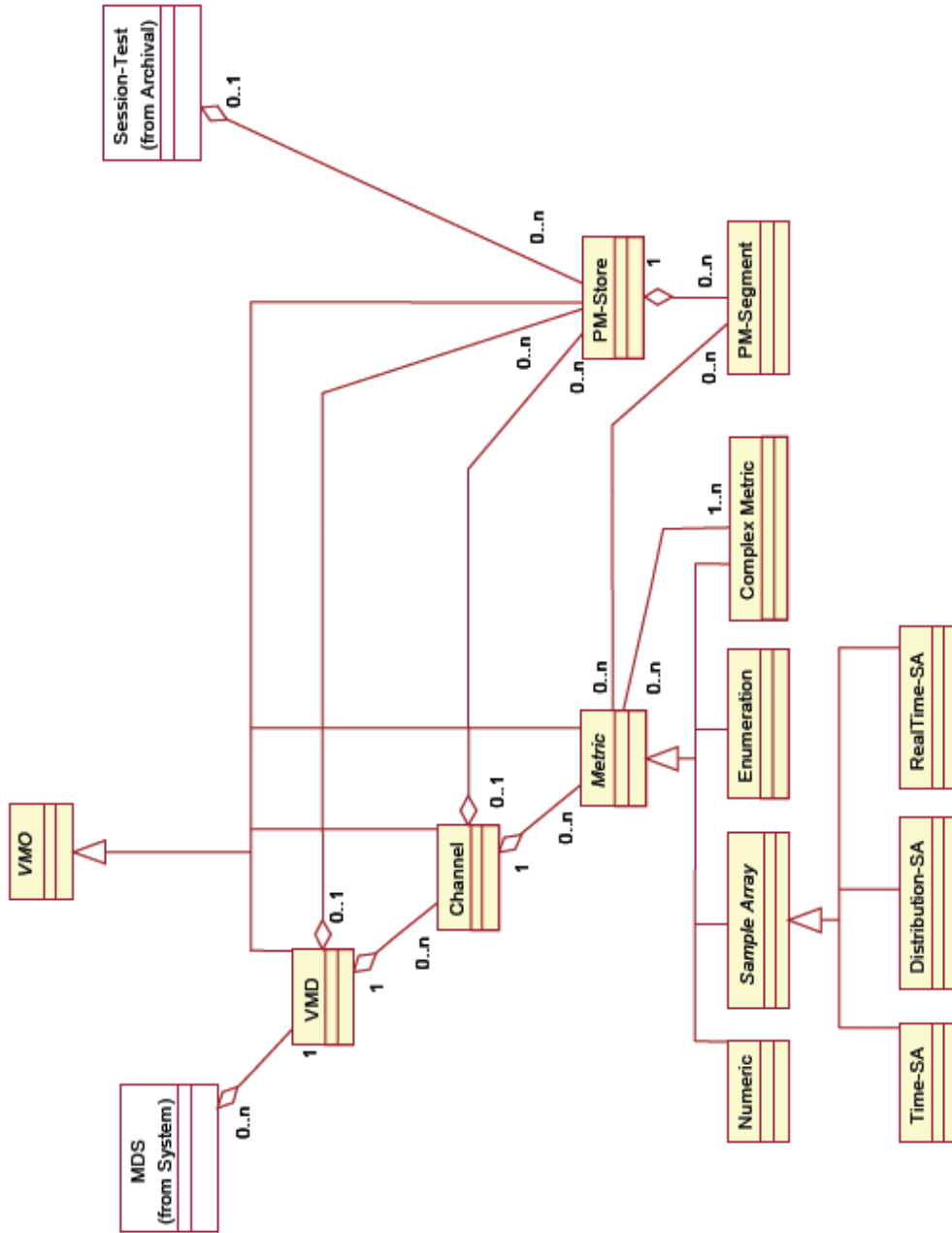
```

```

        <xs:enumeration value="Langsam"/>
        <xs:enumeration value="Normal"/>
        <xs:enumeration value="Schnell"/>
    </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element id="AreaClassification" name="AreaClassification">
    <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
            <xs:enumeration value="Extrem vermindert"/>
            <xs:enumeration value="Signifikant vermindert"/>
            <xs:enumeration value="Leicht vermindert"/>
            <xs:enumeration value="Normal"/>
            <xs:enumeration value="Leicht erhöht"/>
            <xs:enumeration value="Signifikant erhöht"/>
            <xs:enumeration value="Extrem erhöht"/>
        </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
</xs:element>
<xs:element id="Duration" name="Duration">
    <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
            <xs:enumeration value="Sehr kurz"/>
            <xs:enumeration value="Kurz"/>
            <xs:enumeration value="Mittel"/>
            <xs:enumeration value="Lang"/>
            <xs:enumeration value="Sehr lang"/>
        </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
</xs:element>
<!-- TrendAbstractionParameter End -->
</xs:schema>

```


A3 IEEE11073 DIM



A4 HL7 Telemedical Event Format

```
<xs:include schemaLocation="..\coreschemas/infrastructureRoot-r2.xsd"/>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Channel">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="title" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="text" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="statusCode" type="CS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="component1" type="MCCI_HD000011UV.Component4" nillable="true"
      minOccurs="0"
      maxOccurs="unbounded"/>
    <xs:element name="component2" type="MCCI_HD000011UV.Component7" nillable="true"
      minOccurs="0"
      maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassCluster" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.ChannelAttribute">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="deviceAttribute" type="MCCI_HD000011UV.DeviceAttribute" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component2">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="metric" type="MCCI_HD000011UV.Metric" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component3">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="metricAttribute" type="MCCI_HD000011UV.MetricAttribute" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component4">
  <xs:sequence>
```

```

    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="metric" type="MCCI_HD000011UV.Metric" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component5">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="channel" type="MCCI_HD000011UV.Channel" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component6">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="metric" type="MCCI_HD000011UV.Metric" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Component7">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="channelAttribute" type="MCCI_HD000011UV.ChannelAttribute" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasComponent" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Device">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="participantRole" type="MCCI_HD000011UV.ParticipantRole" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ParticipationTargetDevice" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.DeviceAttribute">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.DeviceOrganizer">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="II" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="title" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="text" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>

```

```

<xs:element name="statusCode" type="CS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="effectiveTime" type="GTS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="device" type="MCCI_HD000011UV.Device" nillable="true" minOccurs="1"
  maxOccurs="1"/>
<xs:element name="component" type="MCCI_HD000011UV.Component" nillable="true" minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
</xs:sequence>
<xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
<xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
<xs:attribute name="classCode" type="ActClassCluster" use="required"/>
<xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Location">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="serviceDeliveryLocation" type="MCCI_HD000011UV.ServiceDeliveryLocation"
      nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ParticipationTargetLocation" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.MedicalContext">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="subject" type="MCCI_HD000011UV.Subject" nillable="true" minOccurs="0"
      maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassConcern" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Metric">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="DSET_I" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="statusCode" type="CS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="effectiveTime" type="GTS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="languageCode" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="targetSiteCode" type="DSET_CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="component1" type="MCCI_HD000011UV.Component6" nillable="true"
      minOccurs="0"
      maxOccurs="unbounded"/>
    <xs:element name="component2" type="MCCI_HD000011UV.Component3" nillable="true"
      minOccurs="0"
      maxOccurs="unbounded"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.MetricAttribute">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>

```

```

<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Observation">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="effectiveTime" type="QSET_TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Organization">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="name" type="COLL_EN" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="telecom" type="COLL_TEL" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="addr" type="COLL_AD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="EntityClassOrganization" use="required"/>
  <xs:attribute name="determinerCode" type="EntityDeterminerSpecific" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.ParticipantRole">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="II" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="manufacturedPlayingDevice" type="MCCI_HD000011UV.PlayingDevice"
      nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="RoleClassManufacturedProduct" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Patient">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="DSET_II" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="patientPerson" type="MCCI_HD000011UV.Person" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="RoleClassPatient" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Payload">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Person">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="DSET_II" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="name" type="EN" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="telecom" type="BAG_TEL" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="administrativeGenderCode" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="birthTime" type="TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>

```

```

    <xs:element name="addr" type="BAG_AD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="maritalStatusCode" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="raceCode" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="EntityClassPerson" use="required"/>
  <xs:attribute name="determinerCode" type="EntityDeterminerSpecific" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.PlayingDevice">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="DSET_IL" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="name" type="BAG_EN" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="desc" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="statusCode" type="CS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="existenceTime" type="IVL_TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="manufacturerModelName" type="SC" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="softwareName" type="SC" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="EntityClassDevice" use="required"/>
  <xs:attribute name="determinerCode" type="EntityDeterminerSpecific" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.ProcessingAttribute">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
  <xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Reference2">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="payload" type="MCCI_HD000011UV.Payload" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipRefersTo" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Reference3">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="medicalContext" type="MCCI_HD000011UV.MedicalContext" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipRefersTo" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Reference4">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="telemedicalValueObservation"
      type="MCCI_HD000011UV.TelemedicalValueObservation"
      nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>

```

```

<xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
<xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipRefersTo" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.ServiceDeliveryLocation">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="serviceProviderOrganization" type="MCCI_HD000011UV.Organization"
      nillable="true"
      minOccurs="0"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="classCode" type="RoleClassServiceDeliveryLocation" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.SourceOf">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="processingAttribute" type="MCCI_HD000011UV.ProcessingAttribute"
      nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipRefersTo" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Subject">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="observation" type="MCCI_HD000011UV.Observation" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasSubject" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Subject1">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="patient" type="MCCI_HD000011UV.Patient" nillable="true" minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ParticipationTargetSubject" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.Subject3">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="deviceOrganizer" type="MCCI_HD000011UV.DeviceOrganizer" nillable="true"
      minOccurs="1"
      maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
  <xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
  <xs:attribute name="typeCode" type="ActRelationshipHasSubject" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.TelemedicalEvent">
  <xs:sequence>
    <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
    <xs:element name="id" type="DSET_II" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="code" type="CD" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="title" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="effectiveTime" type="QSET_TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="activityTime" type="QSET_TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
    <xs:element name="availabilityTime" type="TS" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  </xs:sequence>

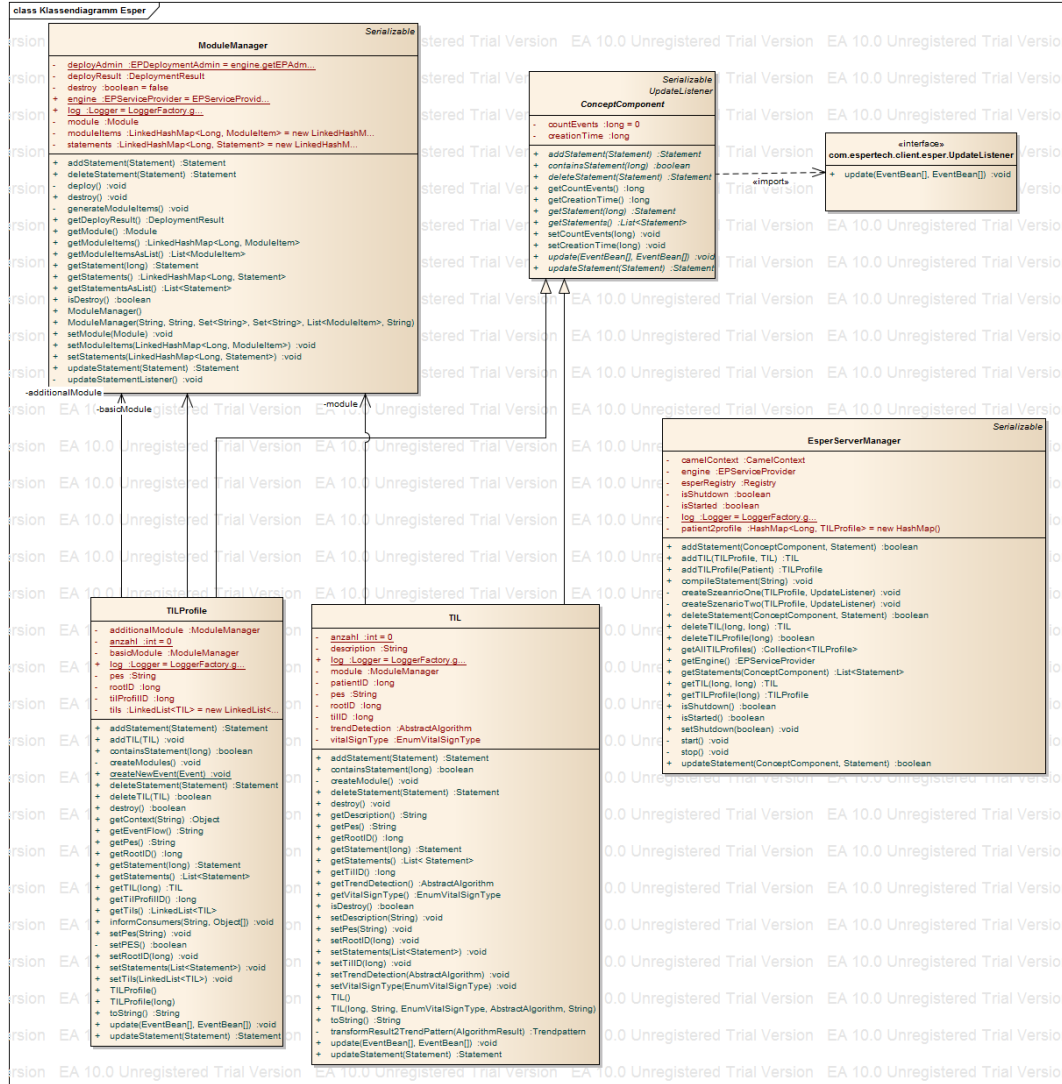
```

```

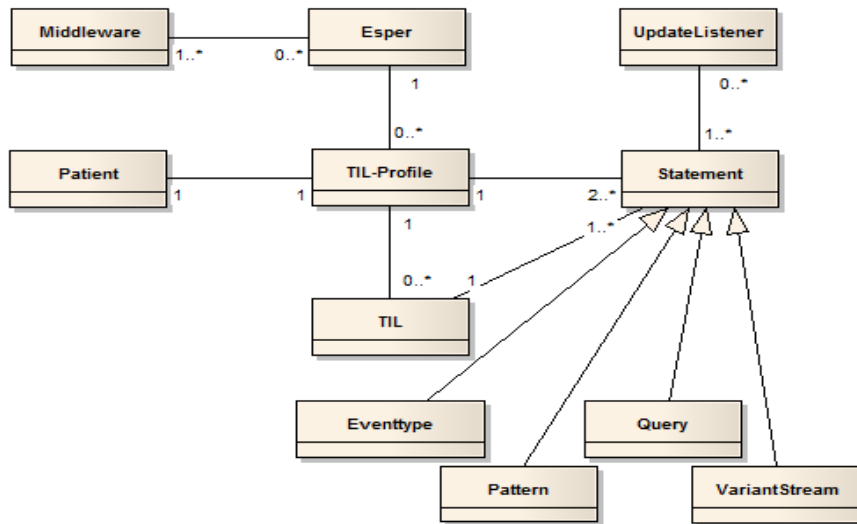
<xs:element name="value" type="ANY" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
<xs:element name="subject" type="MCCI_HD000011UV.Subject1" nillable="true" minOccurs="1"
  maxOccurs="1"/>
<xs:element name="location" type="MCCI_HD000011UV.Location" nillable="true" minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
<xs:element name="reference1" type="MCCI_HD000011UV.Reference2" nillable="true"
  minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
<xs:element name="reference2" type="MCCI_HD000011UV.Reference3" nillable="true"
  minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
<xs:element name="reference3" type="MCCI_HD000011UV.SourceOf" nillable="true" minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
<xs:element name="reference4" type="MCCI_HD000011UV.Reference4" nillable="true"
  minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded"/>
</xs:sequence>
<xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
<xs:attribute name="classCode" type="ActClassObservation" use="required"/>
<xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MCCI_HD000011UV.TelemedicalValueObservation">
<xs:sequence>
  <xs:group ref="InfrastructureRootElements"/>
  <xs:element name="title" type="ED" minOccurs="0" maxOccurs="1"/>
  <xs:element name="subject" type="MCCI_HD000011UV.Subject3" nillable="true" minOccurs="1"
    maxOccurs="1"/>
  <xs:element name="component1" type="MCCI_HD000011UV.Component2" nillable="true"
    minOccurs="0"
    maxOccurs="unbounded"/>
  <xs:element name="component2" type="MCCI_HD000011UV.Component5" nillable="true"
    minOccurs="0"
    maxOccurs="unbounded"/>
</xs:sequence>
<xs:attributeGroup ref="InfrastructureRootAttributes"/>
<xs:attribute name="nullFlavor" type="NullFlavor" use="optional"/>
<xs:attribute name="classCode" type="ActClassContainer" use="required"/>
<xs:attribute name="moodCode" type="ActMoodEventOccurrence" use="required"/>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

A5 Klassendiagramm Engine



A6 Objektstruktur der TiEE Engine



A7 Anamnesebogen

Anamnesebogen FitPit

Pseudo-ID: _____ Alter: _____
 Geschlecht: m / w Arbeitszeit pro Woche: _____

Wie schätzen Sie Ihre körperliche Belastung im Beruf/Alltag ein?
 schwer mittel gering

Wie beurteilen Sie ihr derzeitiges Stress- Empfinden?
 hoch mittel gering

Wie würden Sie ihren derzeitigen Gesundheits-/Fitnesszustand beschreiben (Einfachauswahl)?
 Extrem sportlich (4-5mal Sport pro Woche)
 Relativ sportlich (3-4mal Sport pro Woche)
 Zufriedenstellend (1-2mal Sport pro Woche)
 Gelegentlich Sport
 Unsportlich

Welche Sportarten treiben Sie regelmäßig?

Bestehen bei Ihnen so genannte Risikofaktoren?

Rauchen	ja	nein	
Übergewicht	ja	nein	BMI: _____
Fettstoffwechselstörung	ja	nein	
Zuckerkrankheit	ja	nein	
Regelmäßig Alkohol	ja	nein	

Sonstige: _____

Im folgendem sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.
 Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja,
 wie stark? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Option an)

Tätigkeit	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben			
mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen			
Einkaufstaschen heben oder tragen			

mehrere Treppenabsätze steigen			
einen Treppenabsatz steigen			
sich beugen, knien, bücken			
mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen			
mehr als 5 Kilometer Joggen			

Hatten Sie in den vergangen 4 Wochen Schmerzen?

Ja nein

Wenn ja, wo?

Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Ich hatte keine Schmerzen 1
- Sehr leicht 2
- Leicht 3
- Mäßig 4
- Stark 5
- Sehr stark 6

Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeit zu Hause und im Beruf behindert? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Überhaupt nicht 1
- Etwas 2
- Mäßig 3
- Ziemlich 4
- Sehr 5

Krankheiten:

- Blutdruck
- akute chronische Krankheiten
- Operationen
- orthopädische Krankheiten
- Herz-Kreislaufkrankheiten

Warum wollen Sie ein Training ausführen? Was möchten Sie mit Ihrem Training erreichen?

Ziele:

A8 Trendabstraktionsparameter Adipositas-Begleiter

Steigerungsrate

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Null	ZERO	0
C2	Normal	NORMAL	
C3	Signifikant	SIGNIFICANT	

Geschwindigkeit

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Langsam	SLOW	=TP4.C4 & TP5.C1 & TP1.C2
C2	Normal	NORMAL	=TP4.C3 & TP5.C2 & TP1.C2
C3	Schnell	FAST	=TP4.C2 & TP5.C3 & TP1.C3

Wertebereich Puls

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<30
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<50
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<60
C4	Normal	NORMAL	60-80
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>80
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>100
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>150

Wertebereich Blutdruck

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	-
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	105/60
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<120/80
C4	Normal	NORMAL	120-140/80-89
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>140/90
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>160/100
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>180/110

Wertebereich Gewicht (nach BMI)

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<pNORM-10kg
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<pNORM-5kg
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<pNORM-2kg
C4	Normal	NORMAL	pNORM
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>pNORM+2

C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>pNORM+5
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>pNORM+10

Dauer

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Sehr kurz	VSHORT	<3
C2	Kurz	SHORT	<7
C3	Mittel	MIDDLE	7-10 Tage
C4	Lang	LONG	>10
C5	Sehr lang	VLONG	>15

Anzahl

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Wenig	FEW	<10
C2	Optimal	OPTIMAL	10-15
C3	Viel	MANY	>15

A9 Trendabstraktionsparameter FitPit

Steigerungsrate

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Null	ZERO	0
C2	Normal	NORMAL	
C3	Signifikant	SIGNIFICANT	

Geschwindigkeit

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Langsam	SLOW	=TP4.C4 & TP5.C1 & TP1.C2
C2	Normal	NORMAL	=TP4.C3 & TP5.C2 & TP1.C2
C3	Schnell	FAST	=TP4.C2 & TP5.C3 & TP1.C3

Wertebereich Sauerstoffsättigung

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<80
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<90
C3	Leicht vermindert	DECREASED	95-90
C4	Normal	NORMAL	95-100
C5	Leicht erhöht	INCREASED	-
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	-
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	-

Wertebereich Puls

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<30
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<50
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<60
C4	Normal	NORMAL	60-80
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>80
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>100
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>150

Wertebereich Blutdruck

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	-
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	105/60
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<120/80
C4	Normal	NORMAL	120-140/80-89

C5	Leicht erhöht	INCREASED	>140/90
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>160/100
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>180/110

Wertebereich Gewicht (nach BMI)

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<16,0
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	16,0–17,0
C3	Leicht vermindert	DECREASED	17,0–18,5
C4	Normal	NORMAL	18,5–25,0
C5	Leicht erhöht	INCREASED	25,0–30,0
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	30,0–40,0
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>40,0

Dauer

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Sehr kurz	VSHORT	<3
C2	Kurz	SHORT	<7
C3	Mittel	MIDDLE	7-10 Tage
C4	Lang	LONG	>10
C5	Sehr lang	VLONG	>15

Anzahl

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Wenig	FEW	<10
C2	Optimal	OPTIMAL	10-12
C3	Viel	MANY	>15

A10 Trendabstraktionsparameter Anästhesieüberwachung

Steigerungsrate

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Null	ZERO	0
C2	Normal	NORMAL	
C3	Signifikant	SIGNIFICANT	

Geschwindigkeit

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Langsam	SLOW	=TP4.C4 & TP5.C1 & TP1.C2
C2	Normal	NORMAL	=TP4.C3 & TP5.C2 & TP1.C2
C3	Schnell	FAST	=TP4.C2 & TP5.C3 & TP1.C3

Wertebereich Sauerstoffsättigung

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<80
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<90
C3	Leicht vermindert	DECREASED	95-90
C4	Normal	NORMAL	95-100
C5	Leicht erhöht	INCREASED	-
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	-
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	-

Wertebereich Puls

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<30
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<50
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<60
C4	Normal	NORMAL	60-80
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>80
C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>100
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>150

Wertebereich CO₂

Code	Name	Identifier	Wert
C1	Extrem vermindert	EDECREASED	<30
C2	Signifikant vermindert	SDECREASED	<35
C3	Leicht vermindert	DECREASED	<40
C4	Normal	NORMAL	40
C5	Leicht erhöht	INCREASED	>40

C6	Signifikant erhöht	SINCREASED	>45
C7	Extrem erhöht	EINCREASED	>50

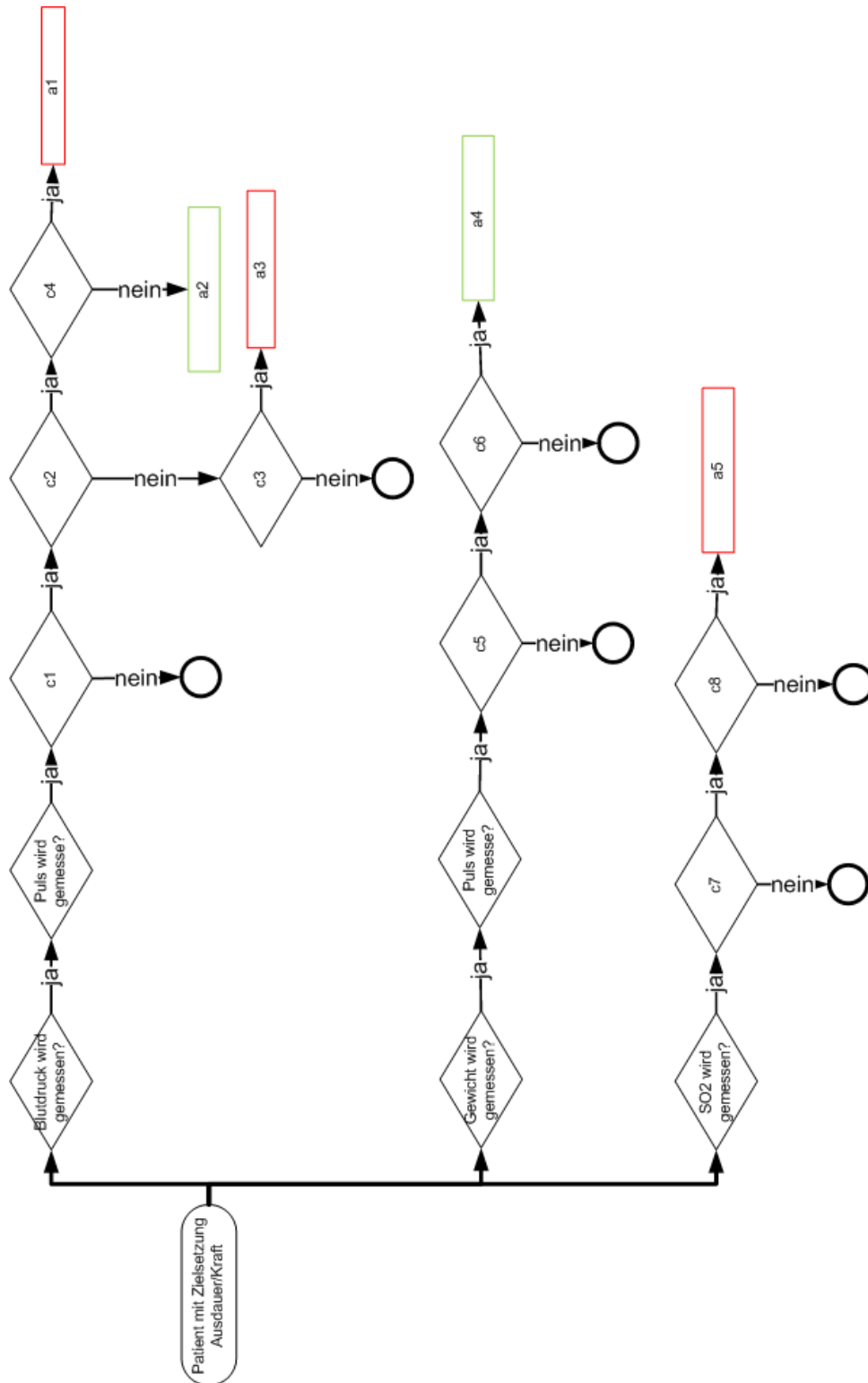
Dauer

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Sehr kurz	VSHORT	< 30 Sekunden
C2	Kurz	SHORT	<60 Sekunden
C3	Mittel	MIDDLE	60-120 Sekunden
C4	Lang	LONG	>120 Sekunden
C5	Sehr lang	VLONG	>300 Sekunden

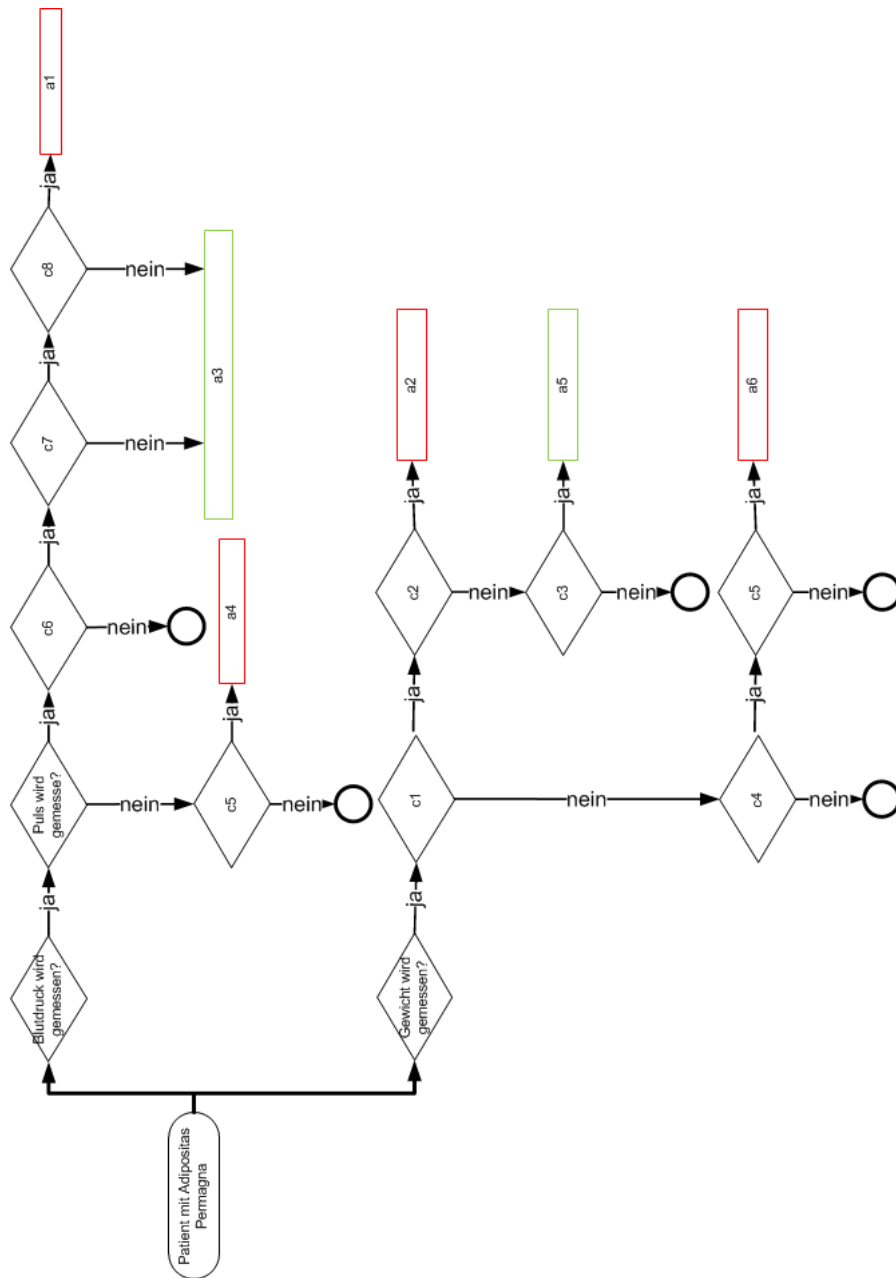
Anzahl

Code	Name	Identifizier	Wert
C1	Wenig	FEW	<6000
C2	Optimal	OPTIMAL	6000 - 12000
C3	Viel	MANY	>12000

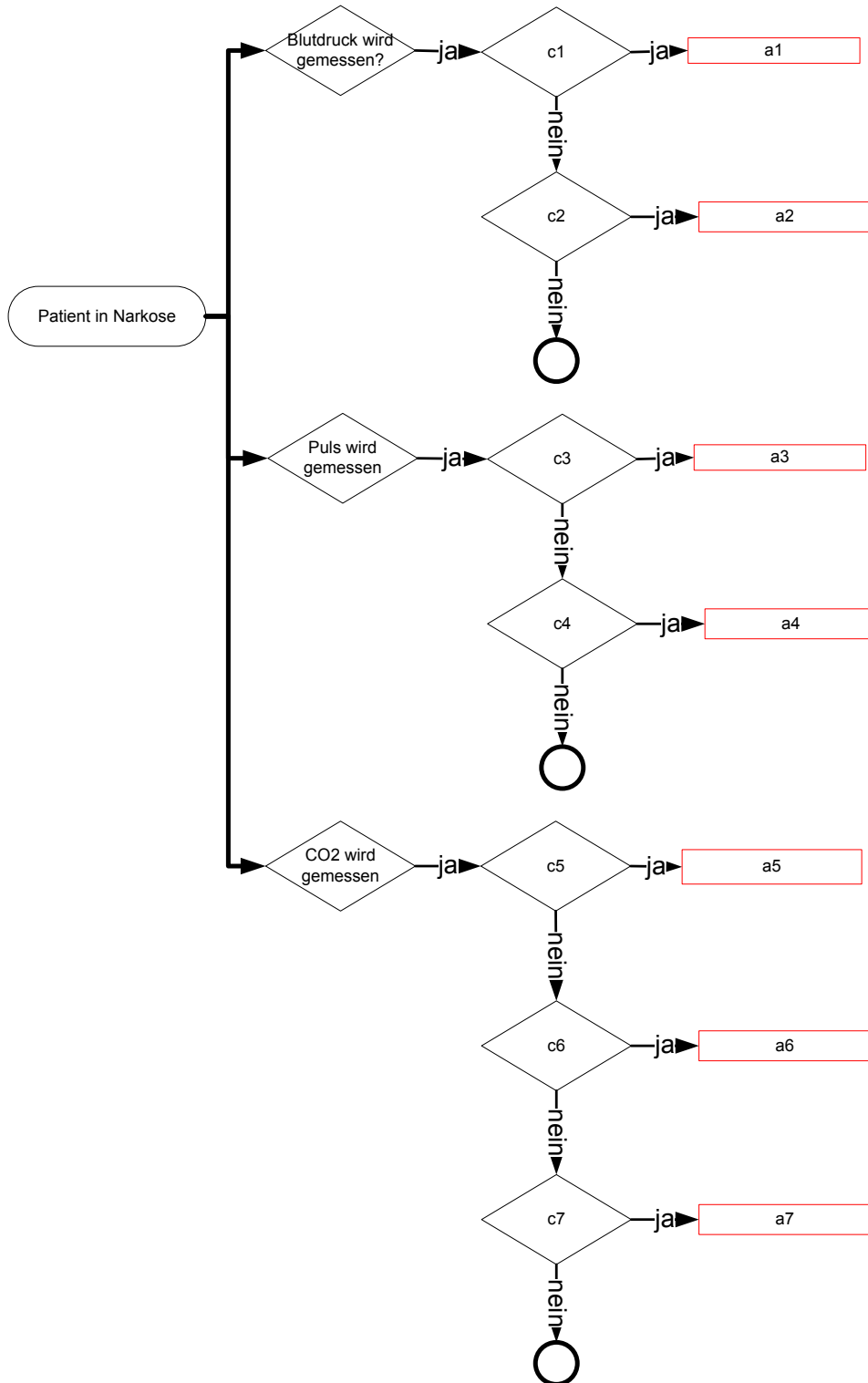
A11 Bedarfsmodellierung Use Case FitPit



A12 Bedarfsmodellierung Use Case Adipositas-Begleiter

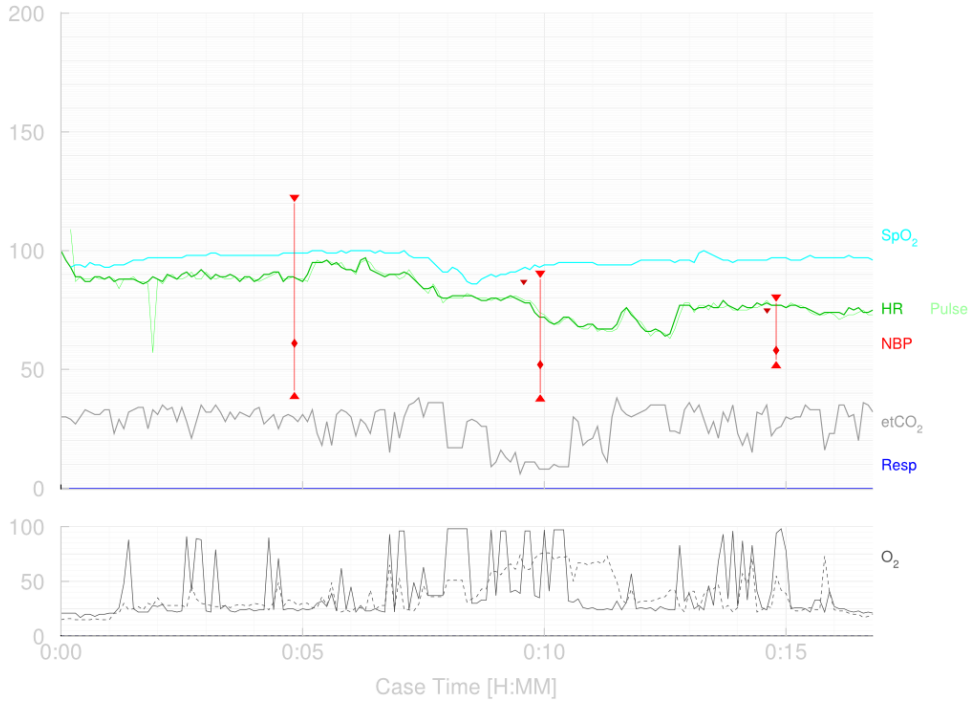


A13 Bedarfsmodellierung Use Case Anästhesieüberwachung

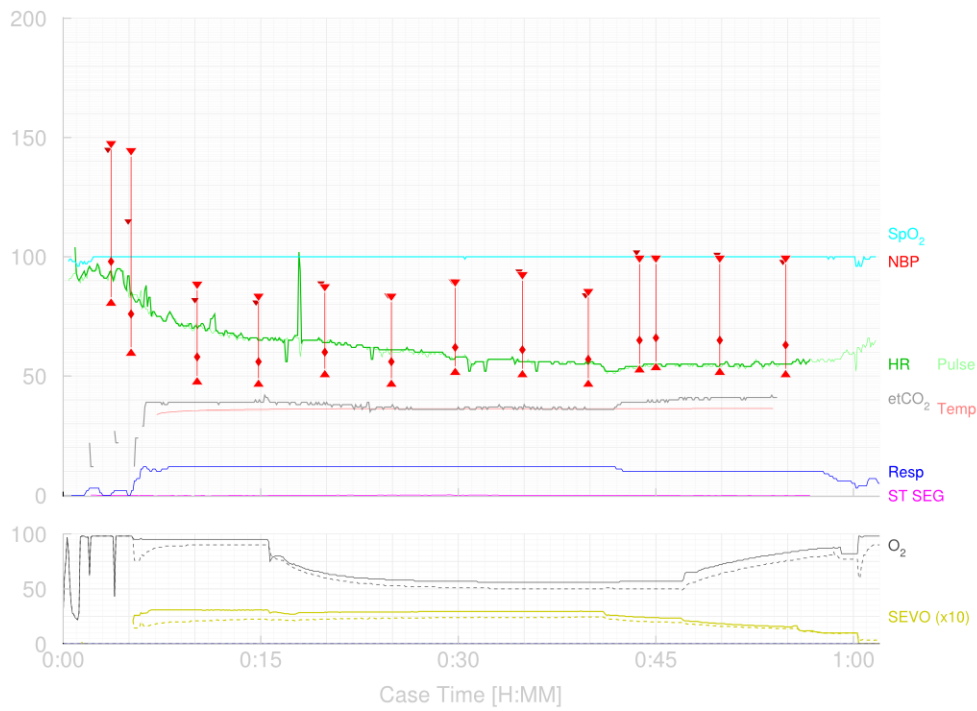


A14 Datenverläufe

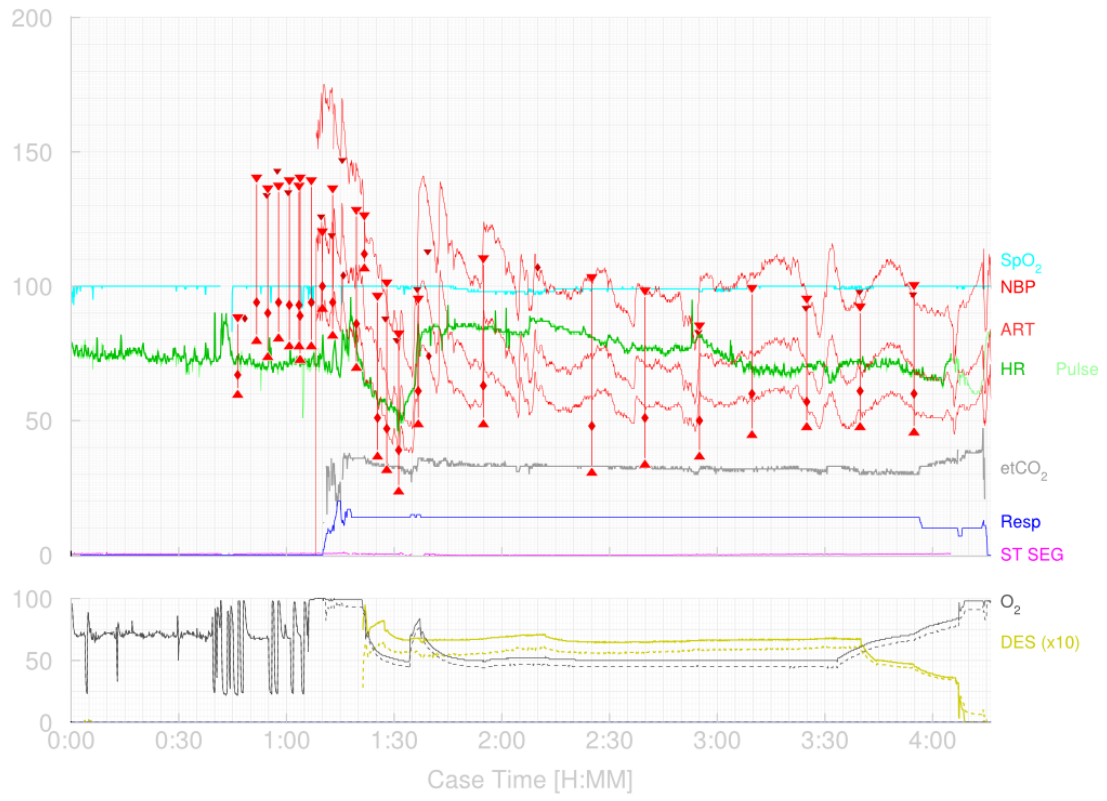
Datensatz 1 –Case 2



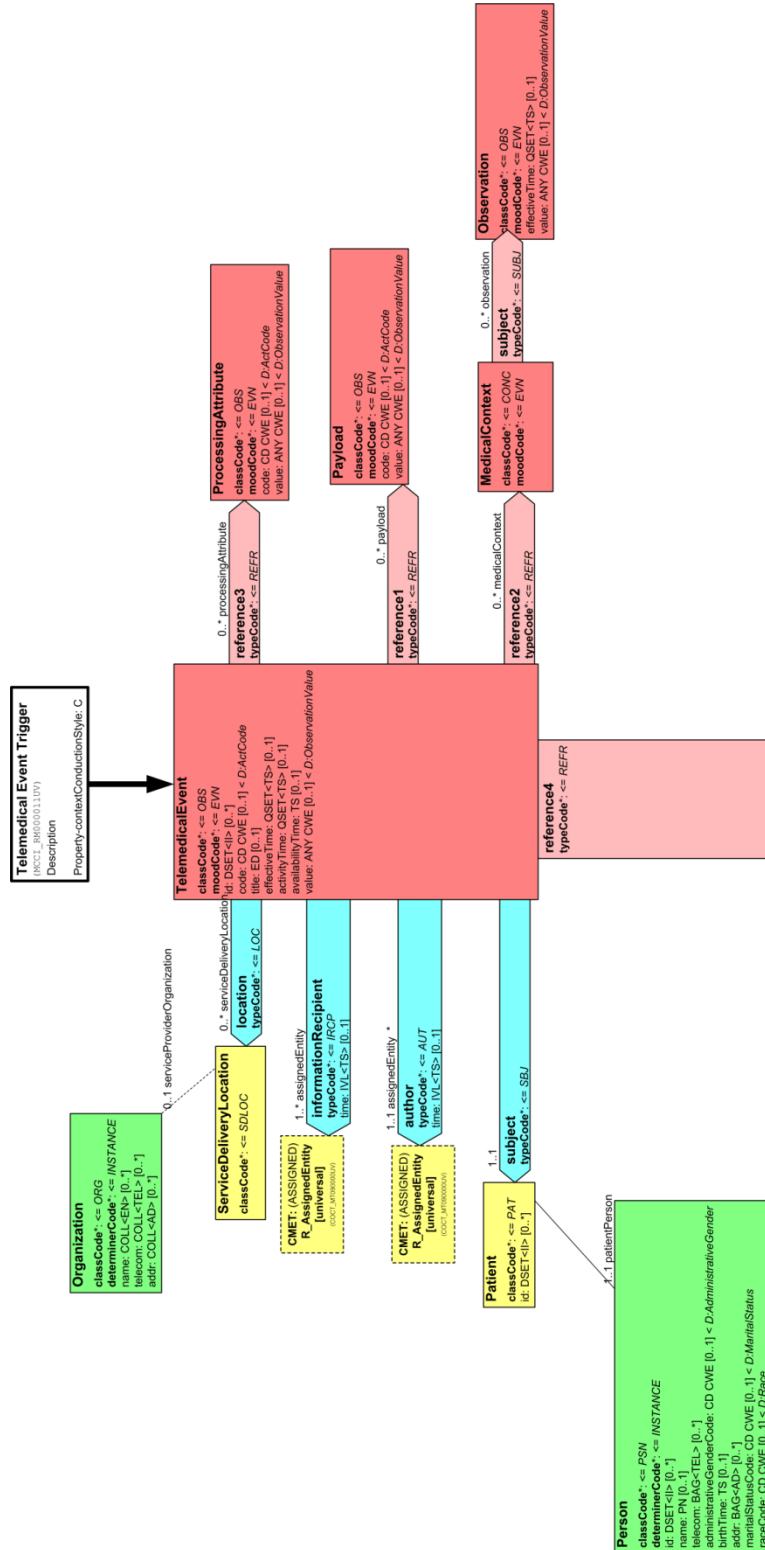
Datensatz 2 –Case 24

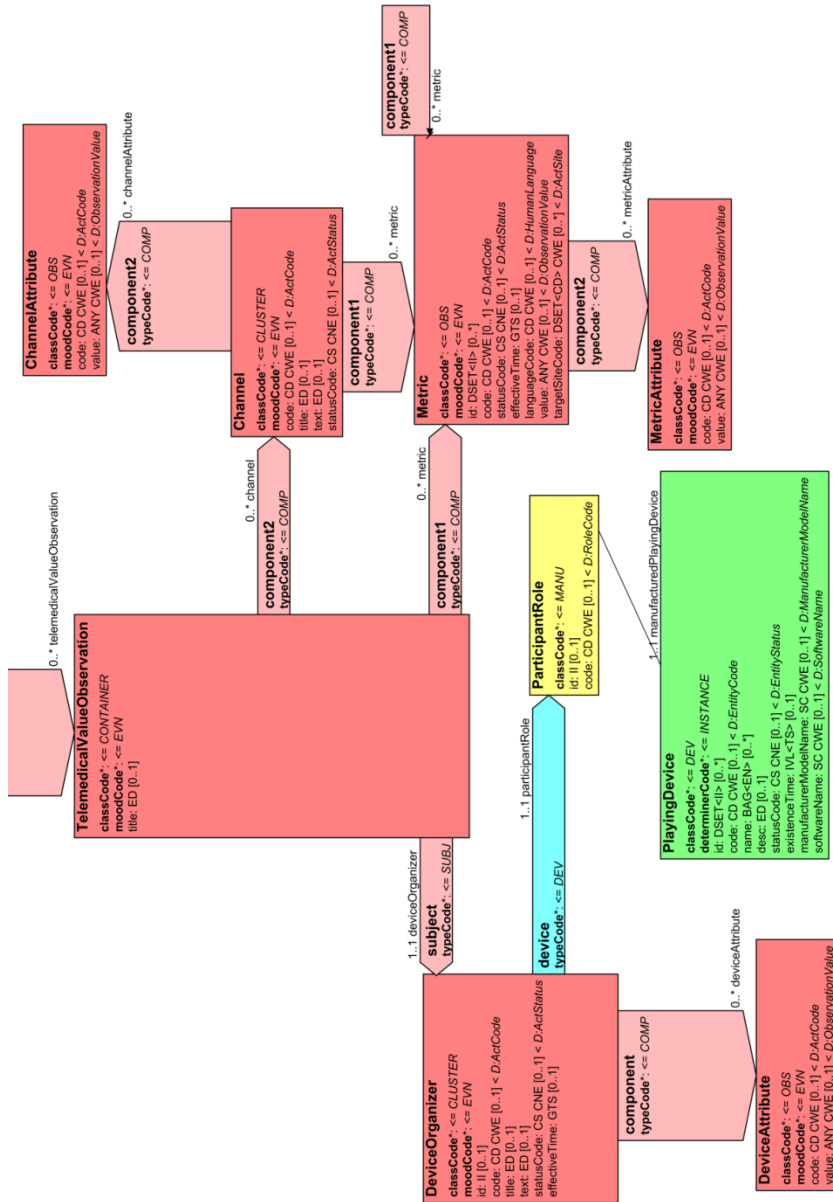


Datensatz 2 –Case 27



A15 HL7 Telemedical Event R-MIM





Literaturverzeichnis

- [ABB⁺04] ARASU, A. ; BABCOCK, B. ; BABU, S. ; CIESLEWICZ, J. ; DATAR, M. ; ITO, K. ; MOTWANI, R. ; SRIVASTAVA, U. ; WIDOM, J.: STREAM: The Stanford Data Stream Management System / Stanford InfoLab. Version:2004. <http://ilpubs.stanford.edu:8090/641/>. Stanford InfoLab, 2004 (2004-20). – Technical Report
- [Ack89] ACKOFF, Russell L.: From Data to Wisdom. In: *Journal Of Applied Systems Analysis* 16 (1989), Nr. 1, S. 3–9
- [AF94] ALLEN, James F. ; FERGUSON, George: Actions and Events in Interval Temporal Logic. In: *Journal of Logic and Computation* 4 (1994), Nr. 5, 531–579. <http://logcom.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/logcom/4.5.531>
- [AIK⁺08]ARNOLD, Dieter ; ISERMANN, Heinz ; KUHN, Axel ; TEMPELMEIER, Horst ; FURMANS, Kai ; ARNOLD, Dieter (Hrsg.) ; ISERMANN, Heinz (Hrsg.) ; KUHN, Axel (Hrsg.) ; TEMPELMEIER, Horst (Hrsg.) ; FURMANS, Kai (Hrsg.): *Handbuch Logistik*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. – 1137 S. <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-540-72929-7>
- [AK11] ADLER, G. ; KNESEBECK, J.-H. v.d.: Ärztemangel und Ärztebedarf in Deutschland? In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 54 (2011), 228-237. <http://dx.doi.org/10.1007/s00103-010-1208-7>. – ISSN 1436–9990
- [AKM08] AIGNER, Wolfgang ; KAISER, Katharina ; MIKSCH, Silvia: Visualization methods to support guideline-based care management. In: *Stud Health Technol Inform* 139 (2008), 140-59. <http://www.biomedsearch.com/nih/Visualization-methods-to-support-guideline/18806325.html>. – ISSN 0926–9630
- [All83] ALLEN, James F.: Maintaining knowledge about temporal intervals. In: *Commun. ACM* 26 (1983), Nr. 11, 832–843. <http://doi.acm.org/10.1145/182.358434>. – ISSN 0001–0782
- [All91] ALLEN, James F.: Time and time again: The many ways to represent time. In: *International Journal of Intelligent Systems* 6 (1991), S. 341–355
- [Aug05] AUGUSTO, Juan C.: Temporal reasoning for decision support in medicine. In: *Artif. Intell. Med.* 33 (2005), Januar, Nr. 1, 1–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.artmed.2004.07.006>. – ISSN 0933–3657
- [Bas02] BASHSHUR, Rashid L.: *Telemedicine and Health Care*. Mary Ann Liebert, 2002 <http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/15305620252933356>
- [BAY75] BASHSHUR, Rashid L. ; ARMSTRONG, Patricia A. ; YOUSSEF, Zakhour I.: Telemedicine: explorations in the use of telecommunications in health care. In: THOMAS, C. C. (Hrsg.): *Charles C. Thomas*. Springfield, 1975, S. xvi, 356 p.
- [BBMS98] BATES, John ; BACON, Jean ; MOODY, Ken ; SPITERI, Mark: Using Events for the Scalable Federation of Heterogeneous Components. In: *Proceedings of the 8th ACM SIGOPS European workshop on Support for composing distributed applications*. New York : ACM, 1998, 58–65
- [BC92] BELKIN, Nicholas J. ; CROFT, W. B.: Information Filtering and Information Retrieval: Two Sides of the Same Coin. In: *COMMUNICATIONS OF THE ACM* 35 (1992), Nr. 12, S. 29–38

- [BC04] BOISOT, Max ; CANALS, Agustí: Data, information and knowledge: have we got it right? In: *Journal of Evolutionary Economics* 14 (2004), 43-67. <http://dx.doi.org/10.1007/s00191-003-0181-9>. – ISSN 0936–9937
- [BD10] BRUNS, Ralf ; DUNKEL, Jürgen: *Event-Driven Architecture: Softwarearchitektur für ereignisgesteuerte Geschäftsprozesse (Xpert.press) (German Edition)*. 1st Edition. Springer, 2010. – ISBN 9783642024382
- [BDF⁺07] BRAECKLEIN, Martin ; DEHM, Johannes ; FISCHER, Wolf-Joachim ; BARTH, Frank ; HOMBERG, Benjamin ; KORB, Harald ; LÜHRS, Christian ; NORGALL, Thomas ; WIEDEMUTH, Daniele: *Anwendungsregeln für TeleMonitoring / VDE*. 2007. – Forschungsbericht
- [BDFK⁺99] BUSSE, Susanne ; DEITERS, Wolfgang ; FUCHS-KITTOWSKI, Frank ; LIENEMANN, Carsten ; NEUHAUS, Jan ; PFENNIGSCHMIDT, Stefan ; WOJCIECHOWSKI, Manfred: *Informationslogistik am Fraunhofer ISST / Fraunhofer ISST*. 1999. – Forschungsbericht. – (interner Bericht)
- [BDG⁺07] BRENNNA, Lars ; DEMERS, Alan ; GEHRKE, Johannes ; HONG, Mingsheng ; OSSHER, Joel ; PANDA, Biswanath ; RIEDEWALD, Mirek ; THATTE, Mohit ; WHITE, Walker: Cayuga: a high-performance event processing engine. In: *Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (SIGMOD '07). – ISBN 978–1–59593–686–8, 1100–1102
- [Ben10] BENSON, Tim: *Principles of Health Interoperability HL7 and SNOMED (Health Informatics)*. 1. Springer, Berlin, 2010. – ISBN 9781848828025
- [Ber09] BERNER, Eta S.: *Clinical decision support systems: State of the Art / Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ)*. Rockville, Maryland, 2009 (09-0069-EF). – Forschungsbericht
- [Böh10] BÖHM, K.: Demografischer Wandel als Chance für die Gesundheitswirtschaft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53 (2010), 460-473. <http://dx.doi.org/10.1007/s00103-010-1042-y>. – ISSN 1436–9990
- [BHC99] BAWDEN, David ; HOLTHAM, Clive ; COURTNEY, Nigel: Perspectives on information overload. In: *Aslib Proceedings* 51 (1999), Oktober, Nr. 8, S. 249–255
- [Bir71] BIRD, K.T.: Teleconsultation: a new health information exchange system. In: *Third Annual Report to the Veterans Administration*, 1971
- [BLM⁺00] BELLAZZI, R. ; LARIZZA, C. ; MAGNI, P. ; MONTANI, S. ; NICOLAO, G. D.: Intelligent Analysis of Clinical Time Series by combining Structural Filtering and Temporal Abstractions. In: *in Artificial Intelligence in*, Springer, 2000, S. 261–270
- [BMK11] BAKKES, S. ; MORSCH, R. ; KROSE, B.: Telemonitoring for independently living elderly: Inventory of needs amp; requirements. In: *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on*, 2011, S. 152 –159
- [Bod03] BODENDORF, Freimut: *Daten- und Wissensmanagement (Springer-Lehrbuch)*. Springer, 2003. – ISBN 3540001026
- [Bro10] BROY, Manfred: *Cyber Physical Systems*. Springer, 2010. – ISBN 978–3–642–14498–1
- [Bui09] BUI, Ham-Lam: *Survey and Comparison of Event Query Languages Using Practical Examples*, Ludwig-Maximilians-Universität München, Diplomarbeit, 2009. http://www2.pms.ifi.lmu.de/publikationen/diplomarbeiten/Hai-Lam.Bui/DA_Hai-Lam.Bui.pdf

[Bun12] BUNDESVERBAND TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E. V.: Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte / Bundesverband Telekommunikation und neue Medien e. V. 2012. – Forschungsbericht. – 108 S.

[BWMBM⁺04] BJARNASON-WEHRENS, B ; MAYER-BERGER, W ; MEISTER, E R. ; BAUM, K ; HAMBRECHT, R ; GIELEN, S: The stakes of force perseverance training and muscle structure training in rehabilitation. Recommendations of the German Federation for Prevention and Rehabilitation of Heart-Circulatory Diseases e.v. In: *Zeitschrift für Kardiologie* 93 (2004), Mai, Nr. 5, 357–70. <http://dx.doi.org/10.1007/s00392-004-0063-7>. – DOI 10.1007/s00392-004-0063-7. – ISSN 0300-5860

[CBB04] CHARBONNIER, S. ; BECQ, G. ; BIOT, L.: On-line segmentation algorithm for continuously monitored data in intensive care units. In: *IEEE Trans Biomed Eng* 51 (2004), Mar, Nr. 3, S. 484–492

[CCC07] CHANDY, K. M. ; CHARPENTIER, Michel. ; CAPPONI, Agostino: Towards a Theory of Events. In: *Proceedings of the 2007 inaugural international conference on Distributed event-based systems*. New York : ACM, 2007. – ISBN 978-1-59593-665-3, 180–187

[CD08] CHARBONNIER, S. ; DAMOUR, C.: A Robust Auto-tuning on-line Trend Extraction Method. In: CHUNG, Myung J. (Hrsg.) ; MISRA, Pradeep (Hrsg.): *Proceedings of the 17th World Congress, 2008*

[CEA11] CHANDY, Mani K. ; ETZION, Opher ; AMMON, Rainer von: 10201 Executive Summary and Manifesto – Event Processing. In: CHANDY, K. M. (Hrsg.) ; ETZION, Opher (Hrsg.) ; AMMON, Rainer von (Hrsg.): *Event Processing*. Dagstuhl, Germany : Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, Germany, 2011 (Dagstuhl Seminar Proceedings 10201). – ISSN 1862-4405

[CF10] CHURCHER, Gavin E. ; FOLEY, Jeff: Applying Complex Event Processing and Extending Sensor Web Enablement to a Health Care Sensor Network Architecture. Version:2010. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-11528-8_1. In: AKAN, Ozgur (Hrsg.) ; BELLAVISTA, Paolo (Hrsg.) ; CAO, Jiannong (Hrsg.) ; DRESSLER, Falko (Hrsg.) ; FERRARI, Domenico (Hrsg.) ; GERLA, Mario (Hrsg.) ; KOBAYASHI, Hisashi (Hrsg.) ; PALAZZO, Sergio (Hrsg.) ; SAHNI, Sartaj (Hrsg.) ; SHEN, Xuemin (. (Hrsg.) ; STAN, Mircea (Hrsg.) ; XIAOHUA, Jia (Hrsg.) ; ZOMAYA, Albert (Hrsg.) ; COULSON, Geoffrey (Hrsg.) ; HAILES, Stephen (Hrsg.) ; SICARI, Sabrina (Hrsg.) ; ROUSSOS, George (Hrsg.): *Sensor Systems and Software* Bd. 24. Springer Berlin Heidelberg, 2010. – ISBN 978-3-642-11528-8, 1-10

[Cha03] CHARBONNIER, Sylvie: On-Line Extraction of Successive Temporal Sequences from ICU High-Frequency Data for Decision Support Information. In: *AIME*, 2003, S. 1–10

[CM11] CUGOLA, Gianpaolo ; MARGARA, Alessandro: Processing flows of information: from data stream to complex event processing. In: *Proceedings of the 5th ACM international conference on Distributed event-based system*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (DEBS '11). – ISBN 978-1-4503-0423-8, 359–360

[CRA⁺09] COSTIN, Hariton ; ROTARIU, Cristian ; ALEXA, Ioana ; CONSTANTINESCU, Gina ; CEHAN, Vlad ; DIONISIE, B. ; ANDRUSEAC, Gladiola ; FELEA, V. ; CRAUCIUC, E. ; SCUTARIU, M.: TELEMON - A Complex System for Real Time Medical Telemonitoring. Version:2009. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-03904-1_25. In: MAGJAREVIC, Ratko (Hrsg.) ; DÖSSEL, Olaf (Hrsg.) ; SCHLEGEL, Wolfgang C. (Hrsg.): *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7 - 12, 2009, Munich, Germany* Bd. 25/5. Springer Berlin Heidelberg, 2009. – ISBN 978-3-642-03904-1, 92-95

- [CS97] COMBI, Carlo ; SHAHAR, Yuval: Temporal reasoning and temporal data maintenance in medicine: Issues and challenges. In: *Computers in Biology and Medicine* 27 (1997), Nr. 5, S. 353 – 368. – ISSN 0010–4825
- [DC00] DARKINS, Adam ; CARY, Margaret ; TUCKER, Bill (Hrsg.) ; LANKAS, Pamela (Hrsg.): *Telemedicine and Telehealth: Principles, Policies, Performances and Pitfalls*. New York : Springer Publishing Company, 2000
- [DIG07] DIAO, Yanlei ; IMMERMANN, Neil ; GYLLSTROM, Daniel: Sase+: An agile language for kleene closure over event streams. 2007. – Forschungsbericht
- [DLB⁺01] DEITERS, Wolfgang ; LIENEMANN, Carsten ; BUSSE, Sebastian ; CAUMANN, J. ; FÖCKER, E. ; GABRIEL, P. ; GARTMANN, R. ; GOESMANN, T. ; HASELOFF, S. ; HOLLFELDER, S. ; HOLTkamp, B. ; KAMPHUSMANN, T. ; KÖNIGSMANN, T. ; KUHLMANN, A. ; KUNZE, S. ; KUTSCHE, R. ; LEIDIG, T. ; LÖFFELER, T. ; LUCAS, R. ; MEDER, N. ; MEISSEN, U. ; PFENNIGSCHMIDT, S. ; SANDKUHL, K. ; SCHRECKENBERG, M. ; SEEGER, C. ; STEINACKER, A. ; STEINMETZ, R. ; WAHLE, J. ; WEBER, H. ; WOJCIECHOWSKI, M. ; DEITERS, Wolfgang (Hrsg.) ; LIENEMANN, Carsten (Hrsg.): *Report Informationslogistik - Informationen just-in-time*. Symposium Publishing, 2001
- [DLP03] DEITERS, Wolfgang ; LÖFFELER, Torsten ; PFENNIGSCHMIDT, Stefan: The Information Logistics Approach toward User Demand-Driven Information Supply. In: *Cross-media service delivery : Based on papers presented at the Conference on Cross-Media Service Delivery - CMSD-2003*, Kluwer Academic Publishers, 2003
- [DM11] DETER, Gerhard ; MARKOVSKI, Goce: Telemedizin / Fachbereich WD 9, Gesundheit, Familie, Senioren, Frauen und Jugend. 2011 (15). – Forschungsbericht
- [DZ06] DUPLAGA, Mariusz ; ZIELINSKI, Krzysztof: Evolution of IT-Enhanced Healthcare: From Telemedicine to e-Health. Version:2006. http://dx.doi.org/10.1007/1-84628-141-5_1. In: ZIELINSKI, Krzysztof (Hrsg.) ; DUPLAGA, Mariusz (Hrsg.) ; INGRAM, David (Hrsg.): *Information Technology Solutions for Healthcare*. Springer London, 2006 (Health Informatics). – ISBN 978–1–84628–141–9, 1-21
- [EB09] ECKERT, Michael ; BRY, François: Complex Event Processing (CEP). In: *Informatik-Spektrum* 32 (2009), 163-167. <http://dx.doi.org/10.1007/s00287-009-0329-6>. – ISSN 0170–6012
- [EDB⁺10] EBERSPÄCHER, Jörg ; DENZ, Martin ; BUSSE, Reinhard ; GOETZ, Christoph ; SEELIGER, Jens ; WESSIG, Kerstin ; WOLF, B. ; FRIEDRICH, P. ; SPITTLER, T. ; LÖSCH, Kurt ; BRAUN, Günter ; HEUZEROTH, Volker ; JEDAMZIK, Siegfried ; HASTEDT, Ingrid ; PICOT, A. (Hrsg.) ; BRAUN, G. (Hrsg.): *Telemonitoring in Gesundheits- und Sozialsystemen: Eine eHealth-Lösung mit Zukunft*. Springer, 2010. – ISBN 9783642156328
- [Els13] www.sciencedirect.com [Accessed 22-August-2013]
- [EN10] ETZION, Opher ; NIBLETT, Peter: *Event Processing in Action*. Manning, 2010. – ISBN 9781935182214
- [Esp11] ESPER: *Esper*. <http://esper.codehaus.org/>. <http://esper.codehaus.org/>. Version:2011. – (Accessed 17-August-2013)
- [Fel04] FELDER, Stefan: Moral Hazard, Arztvergütung und technischer Fortschritt in der Medizin: Korreferat zum Beitrag von Astrid Selder: "Der Einfluss der Arzthonorierung auf die Anwendung neuer Techniken". In: *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung / Quarterly Journal of Economic Research* 73 (2004), Nr. 4, 589-591. <http://econpapers.repec.org/RePEc:diw:diwvjh:73-40-11>

- [FG02] FIELD, Marilyn J. ; GRIGSBY, Jim: Telemedicine and Remote Patient Monitoring. In: *JAMA: The Journal of the American Medical Association* 288 (2002), July, Nr. 4, S. 423–425
- [FK02] FUCHS-KITTOWSKI, Klaus: Wissens-Ko-Produktion: Verarbeitung, Verteilung und Entstehung von Informationen in kreativ-lernenden Organisationen. In: FLOYD, Christiane (Hrsg.) ; FUCHS, Christian (Hrsg.) ; HOFKIRCHNER, Wolfgang (Hrsg.): *Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*. Frankfurt a.M. : Peter Lang-Verlag, 2002. – ISBN 3–631–37642–1, S. 59–125
- [FMEm06] FOSTER, Darren ; MCGREGOR, Carolyn ; EL-MASRI, Samir: A Survey of Agent-Based Intelligent Decision Support Systems to Support Clinical Management and Research. In: *Management and Research, 1st Intl. Workshop on Multi-Agent Systems for Medicine, Computational Biology, and Bioinformatics*, 2006
- [FMS12] FELDMANN, Bonnie ; MARTIN, Ellen M. ; SKOTNES, Tobi: Big Data in Healthcare - Hype and Hope / Dr. Bonnie 360. 2012. – Forschungsbericht. – 56 S.
- [Fox10] FOX, Dirk: Elektronische Gesundheitskarte. In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD* 34 (2010), 844-844. <http://dx.doi.org/10.1007/s11623-010-0227-8>. – ISSN 1614–0702
- [Fro12] FROST & SULLIVAN: Drowning in Big Data? Reducing Information Technology Complexities and Costs For Healthcare Organizations / Frost & Sullivan. 2012. – Forschungsbericht. – 14 S.
- [FTR+10] FÜLÖP, Lajos J. ; TÓTH, Gabriella ; RÁCZ, Róbert ; PÁNCZÉL, János ; GERGELY, Tamás ; BESZÉDES, Árpád ; FARKAS, Lóránt: Survey on Complex Event Processing and Predictive Analytics / University of Szeged, Department of Software Engineering. Version:2010. http://www.inf.u-szeged.hu/~beszedes/research/cep_pa_tech2010.pdf. University of Szeged, Department of Software Engineering, 2010. – Technical Report
- [Gan08] GANTZ, J.: *The Diverse and Exploding Digital Universe*. <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/diverse-exploding-digital-universe.pdf>. Version:2008
- [GBG+12] GEESSEN, Dennis ; BRELL, Melina ; GRAWUNDER, Marco ; NICKLAS, Daniela ; APPELRATH, Hans-Jürgen: Data Stream Management in the AAL - Universal and Flexible Preprocessing of Continuous Sensor Data. In: WICHERT, Reiner (Hrsg.) ; EBERHARDT, Birgid (Hrsg.): *Ambient Assisted Living* Bd. 5, 2012, S. 213–228
- [GCJ+10] GABNER, Katrin ; CONRAD, Michael ; JOHN, Lutz G. ; HARTWOG, Kristina ; HUCH, Michael ; KREIBICH, Miriam ; RITTNER, Johannes ; ROHNER, Sandra ; SCHULZ, Jens ; SIGMUND, Axel ; STEG, Horst ; STRESE, Hartmut ; WEHRMANN, Christian ; WEIß, Christine: *ICT enabled independent living for the elderly: A status-quo analysis on products and the research landscape in the field of Ambient Assisted Living (AAL) in EU-27*. VDI, 2010 <http://amazon.de/o/ASIN/3897501600/>. – ISBN 9783897501607
- [GDFL06] GAGNON, Marie-Pierre ; DUPLANTIE, Julie ; FORTIN, Jean-Paul ; LANDRY, Ré-jean: Implementing telehealth to support medical practice in rural/remote regions: what are the conditions for success? In: *Implementation Science* 1 (2006), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1186/1748-5908-1-18>
- [Gri97] GRIGSBY, J.: Telemedicine in the United States. In: BASHSHUR, Rashid L. (Hrsg.) ; SANDERS, Jay H. (Hrsg.) ; SHANNON, Gary W. (Hrsg.): *Telemedicine - Theory and Practice*. Charles C.Thomas, 1997, S. 291–326
- [Gri10] In:GRISHMAN, Ralph: *Information Extraction*. Wiley-Blackwell, 2010. – ISBN 9781444324044, 515–530

- [GSM⁺07] GALARRAGA, M. ; SERRANO, L. ; MARTINEZ, I. ; TOLEDO, P. de ; REYNOLDS, M.: Telemonitoring Systems Interoperability Challenge: An Updated Review of the Applicability of ISO/IEEE 11073 Standards for Interoperability in Telemonitoring. In: *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, 2007. – ISSN 1557–170X, S. 6161 –6165
- [GYJO10] GAO, Mingyan ; YANG, Xiaoyan ; JAIN, Ramesh ; OOI, Beng C.: Spatio-temporal event stream processing in multimedia communication systems. In: *Proceedings of the 22nd international conference on Scientific and statistical database management*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2010 (SSDBM'10). – ISBN 3–642–13817–9, 978–3–642–13817–1, 602–620
- [Haa09] HAAS, Christian Johner P.: *Praxishandbuch IT im Gesundheitswesen*. Hanser Fachbuchverlag, 2009. – ISBN 9783446415560
- [Hai94] HAIMOWITZ, Ira: *Knowledge-based trend detection and diagnosis*, Massachusetts Institute of Technology, Diss., 1994
- [Has05] HASELOFF, Sandra: *Context Awareness in Information Logistics*, Technischen Universität Berlin, Dissertation, 2005
- [HBD⁺05] HOPPE, U.C. ; BÖHM, M. ; DIETZ, R. ; HANRATH, P. ; KROEMER, H.K. ; OSTERSPEY, A. ; SCHMALTZ, A.A. ; ERDMANN, E.: Leitlinien zur Therapie der chronischen Herzinsuffizienz. In: *Zeitschrift für Kardiologie* 94 (2005), Nr. 8, 488-509. <http://dx.doi.org/10.1007/s00392-005-0268-4>. – DOI 10.1007/s00392–005–0268–4. – ISSN 0300–5860
- [HBSP03] HRIPCSAK, George ; BAKKEN, Suzanne ; STETSON, Peter D. ; PATEL, Vimla L.: Mining complex clinical data for patient safety research: a framework for event discovery. In: *Journal of Biomedical Informatics* 36 (2003), Nr. 1-2, S. 120 – 130. – ISSN 1532–0464. – Patient Safety
- [Häc10] HÄCKL, Dennis: *Neue Technologien im Gesundheitswesen: Rahmenbedingungen und Akteure: Eine institutionenökonomische Analyse der Verbreitung von Innovationen am Beispiel der Telemedizin*. 1. Gabler, 2010. – ISBN 9783834924100
- [Hcj⁺96]HRIPCSAK, George ; CLAYTON, Paul D. ; JENDERS, Robert A. ; CIMINO, James J. ; JOHNSON, Stephen B.: Design of a Clinical Event Monitor. In: *Computers and Biomedical Research* 29 (1996), Nr. 3, S. 194 – 221. – ISSN 0010–4809
- [HFSS05] HAZLEHURST, Brian ; FROST, H. R. ; SITTIG, Dean F. ; STEVENS, Victor J.: MediClass: A System for Detecting and Classifying Encounter-based Clinical Events in any Electronic Medical Record. In: *Journal of the American Medical Informatics Association* 12 (2005), Nr. 5, S. 517 – 529. – ISSN 1067–5027
- [Hin07] HINCHLEY, Andrew: *Understanding Version 3: A primer on the HL7 Version 3 Healthcare Interoperability Standard*. 4., Aufl. Mönch, A, 2007. – ISBN 9783933819215
- [HK96] HAIMOWITZ, Ira J. ; KOHANE, Isaac S.: Managing temporal worlds for medical trend diagnosis. In: *Artificial Intelligence in Medicine* 8 (1996), Nr. 3, S. 299 – 321. – ISSN 0933–3657. – Temporal Reasoning in Medicine
- [HK05] HAN, Jiawei ; KAMBER, Micheline: *Data Mining: Concepts and Techniques*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2005. – ISBN 1558609016
- [HK09] HAFTOR, Darek M. ; KAJTAZI, Miranda: *What is Information Logistics? An Explorative Study of the Research Frontiers of Information Logistics*. Sweden, 2009

- [HL99] HWANG, Mark I. ; LIN, Jerry W.: Information dimension, information overload and decision quality. In: *Journal of Information Science* 25 (1999), Nr. 3, S. 213–218
- [HMEP96] HORN, Werner ; MIKSCH, Silvia ; EGGHART, Gerhilde ; POPOW, Christian: Effective Data Validation of High-Frequency Data: Time-Point-, Time-Interval-, and Trend-Based Methods. In: *Computer in Biology and Medicine, Special Issue: Time-Oriented Systems in Medicine*, 1996, S. 389–409
- [HMRR11] HOUTA, Salima ; MEISTER, Sven ; RACHMANN, Alexander ; REINERT, Denise: *Zukunftsfähige Telemedizin und AAL- Lösungen. Eine Studie aus Sicht des Service Engineerings, der Informationstechnik sowie des Datenschutzes und der Datensicherheit*. 2011
- [HN97] HUNT, R. E. ; NEWMAN, R. G.: Medical Knowledge Overload: A Disturbing Trend for Physicians. In: *Health Care Manage Rev* 22 (1997), S. 70–75
- [HNW⁺06] HEIN, Andreas ; NEE, Oliver ; WILLEMSEN, Detlev ; SCHEFFOLD, Thomas ; DOGAC, Asuman ; LALECI, Gokce B.: *SAPHIRE - Intelligent Healthcare Monitoring based on Semantic Interoperability Platform - The Homecare Scenari o-*. 2006. – 1st European Conference on eHealth (ECEH'06)
- [HR06] HENKE, Klaus-Dirk ; REIMERS, Lutz: Zum Einfluss von Demographie und medizinisch-technischem Fortschritt auf die Gesundheitsausgaben / Technische Universität Berlin, School of Economics and Management. 2006 (2006/8). – Discussion Papers
- [HS09] HOLLMANN, Wildor ; STRÜDER, Heiko K.: *Sportmedizin: Grundlagen von körperlicher Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Schattauer, 2009. – ISBN 9783794525461
- [HW04] HALL, Amanda ; WALTON, Graham: Information overload within the health care system: a literature review. In: *Health Info Libr J* 21 (2004), Juni, Nr. 2, 102–108. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-1842.2004.00506.x>. – ISSN 1471–1834
- [IEE04] IEEE: ISO/IEEE 11073-10201:2004: Health informatics — Point-of-care medical device communication — Part 10201: Domain information model / IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2004. – Forschungsbericht
- [IEE13] <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> [Accessed 22-August-2013]
- [IHE11] IHE: IHE Patient Care Device (PCD) Technical Framework / IHE International. 2011. – Forschungsbericht
- [Ins10] INSTITUT FÜR DEMOSKOPIE ALLENSBACH: Der Einsatz von Telematik und Telemedizin im Gesundheitswesen / Institut für Demoskopie Allensbach. Version:2010. http://www.baek.de/downloads/eHealth_Bericht_lang_final.pdf. 2010. – Forschungsbericht
- [Int13] INTERNATIONAL HEALTH TERMINOLOGY STANDARDS DEVELOPMENT ORGANISATION: *SNOMED CT*. <http://www.ihtsdo.org/snomed-ct> [Accessed 22-August-2013]. Version:August 2013
- [ISE11] ISEG INSTITUT FÜR SOZIALMEDIZIN, EPIDEMIOLOGIE UND GESUNDHEITSFORSCHUNG: Barmer GEK Arztreport 2011 / Barmer GEK. 2011. – Forschungsbericht
- [Kec11] KECHER, Christoph: *UML 2 das umfassende Handbuch*. Bonn : Galileo Press, 2011. – ISBN 9783836217521
- [KGS07] KOCH, Klaus ; GEHRMANN, Ulrich ; SAWICKI, Peter T.: Primärärztliche Versorgung in Deutschland im internationalen Vergleich: Ergebnisse einer strukturvalidierten Ärztebefragung. In: *Dtsch Arztebl* 104 (2007), Nr. 38

- [KN07] KARTTE, Joachim ; NEUMANN, Karsten: Der Zweite Gesundheitsmarkt / Roland Berger Strategy Consultants. 2007. – Forschungsbericht
- [KN08] KARTTE, Joachim ; NEUMANN, Karsten: Der Gesundheitsmarkt / Roland Berger Strategy Consultants. 2008. – Forschungsbericht
- [Koc09] KOCH, Oliver: *Informationslogistische Konzeption einer kontextorientierten Informationsversorgung in medizinischen Behandlungsprozessen*, Universität Marburg, Diss., 2009
- [Kom08] KOMMISSION, Europäische: Telemedizin für Patienten, Gesundheitssysteme und die Gesellschaft / Generaldirektion Informationsgesellschaft und Medien. Version:2008. <http://dx.doi.org/10.2759/38533>. 2008. – Forschungsbericht
- [KP09] KLAR, Rüdiger ; PELIKAN, E.: Stand, Möglichkeiten und Grenzen der Telemedizin in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 52 (2009), 263-269. <http://dx.doi.org/10.1007/s00103-009-0787-7>. – ISSN 1436-9990
- [KR10] KOCH, Oliver ; ROTARU, Elisei: Using Context to Improve Information Supply in the Medical Sector. In: ABRAMOWICZ, Witold (Hrsg.) ; TOLKSDORF, Robert (Hrsg.) ; W?CEL, Krzysztof (Hrsg.) ; AALST, Wil (Hrsg.) ; MYLOPOULOS, John (Hrsg.) ; ROSEMANN, Michael (Hrsg.) ; SHAW, Michael J. (Hrsg.) ; SZYPERSKI, Clemens (Hrsg.): *Business Information Systems Workshops - BIS 2010 International Workshops* Bd. 57, Springer, 2010 (LNBIP). – ISBN 978-3-642-15401-0, S. 192-203
- [Kuh91] KUHLETHAU, Carol C.: Inside the search process: Information seeking from the user's perspective. In: *JASIS* 42 (1991), Nr. 5, S. 361-371
- [LAG10] LASIERRA, N. ; ALESANCO, A. ; GARCIA, J.: Home-based telemonitoring architecture to manage health information based on ontology solutions. In: *Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB), 2010 10th IEEE International Conference on*, 2010, S. 1-4
- [LDO+08] LALECI, Gokce B. ; DOGAC, Asuman ; OLDUZ, Mehmet ; TASYURT, Ibrahim ; YUKSEL, Mustafa ; OKCAN, Alper: SAPHIRE: A Multi-Agent System for Remote Healthcare Monitoring through Computerized Clinical Guidelines. In: ANNICCHIARICO, Roberta (Hrsg.) ; CORTÉS, Ulises (Hrsg.) ; URDIALES, Cristina (Hrsg.): *Agent Technology and e-Health*, Birkhäuser Basel, 2008
- [LF98] LUCKHAM, David C. ; FRASCA, Brianm: Complex Event Processing in Distributed Systems / Stanford University. 1998. – Forschungsbericht
- [LFHW09] LOWE, Henry J. ; FERRIS, Todd A. ; HERNANDEZ, Penni M. ; WEBER, Susan C.: STRIDE—An Integrated Standards-based Translational Research Informatics Platform. In: *AMIA 2009* (2009), 391-395. <http://view.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20351886>. – ISSN 1942-597X
- [LGJ11] LIU, David ; GÖRGES, Matthias ; JENKINS, Simon A.: University of Queensland Vital Signs Dataset: Development of an Accessible Repository of Anesthesia Patient Monitoring Data for Research. In: *Anesthesia & Analgesia* (2011). <http://www.anesthesi-analgesia.org/content/early/2011/12/20/ANE.0b013e318241f7c0.abstract>
- [LHR98] LARSSON, Jan E. ; HAYES-ROTH, Barbara: Guardian: An Intelligent Autonomous Agent for Medical Monitoring and Diagnosis. In: *IEEE Intelligent Systems* 13 (1998), 58-64. <http://doi.ieeeecomputersociety.org/10.1109/5254.653225>. – ISSN 1094-7167
- [Lin74] LINE, Maurice: Draft Definitions: Information and Library Needs, Wants, Demands and Uses. In: *Aslib Proceedings* 26 (1974), S. 87

- [Län10] LÄNDER, Statistische Ämter des Bundes und d.: Demografischer Wandel in Deutschland / Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Wiesbaden, 2010 (Heft 2). – Forschungsbericht
- [LS08] LUCKHAM, David ; SCHULTE, Roy: Event Processing Glossary / Event Processing Technical Society. Version:2008. http://www.ep-ts.com/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,66/Itemid,84/. 2008 (Version 1.1). – Forschungsbericht. – (Accessed 14-August-2013)
- [Luc02] LUCKHAM, David C.: *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems*. Boston : Addison-Wesley, 2002. – ISBN 0201727897
- [Lun07] LUNDQVIST, Magnus: *Information Demand and Use: Improving Information Flow within Small-scale Business Contexts*. Sweden, Linköping University, Diss., 2007
- [LWML02] LLOYD-WILLIAMS, Ffion ; MAIR, Frances S. ; LEITNER, Maria: Exercise training and heart failure: a systematic review of current evidence. In: *The British journal of general practice : the journal of the Royal College of General Practitioners* 52 (2002), Januar, Nr. 474, 47–55. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1314201&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>. – ISSN 0960–1643
- [Mar10] MARBURGER BUND: Ärztemangel in Deutschland – Muss die Krankheit chronisch werden? / Marburger Bund. Version:2010. http://marburger-bund.de/marburgerbund-bundesverband/presse/stellungnahmen/Aerztmangel-in-Deutschland_Positionspapier_Versand_HV.pdf. Berlin, 2010. – Positionspapier
- [McD82] MCDERMOTT, Drew: A temporal logic for reasoning about processes and plans. In: *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal* 6 (1982), S. 101 – 155. – ISSN 0364–0213
- [ME04] MIHAELI, Joris ; ETZION, Opher: Event Database Processing. In: *ADBIS (Local Proceedings)*, 2004
- [Mei11] MEISTER, Sven: Usage of CEP and HL7 to Solve Information Logistics Problems in Telemedicine. In: *4th International Workshop on Information Logistics and Knowledge Supply for Viable Enterprises (ILOG 2011)*, 2011. – ISBN 978–9984–30–197–6
- [Mei12] MEISTER, Sven: Telemedical Events: Intelligent Delivery of Telemedical Values Using CEP and HL7. In: NIEDRITE, Laila (Hrsg.) ; STRAZDINA, Renate (Hrsg.) ; WANGLER, Benkt (Hrsg.): *BIR Workshops* Bd. 106, Springer, 2012 (Lecture Notes in Business Information Processing)
- [MEME⁺09] MARTINEZ-ESPRONCEDA, M. ; MARTNEZ, I. ; ÉSCAYOLA, J. ; SERRANO, L. ; TRIGO, J. ; LED, S. ; GARCÁ, J.: Standard-based Digital Homecare Challenge: Advances of ISO/IEEE11073 for u-Health. In: AL, Et (Hrsg.): *ICMCC Digital Homecare Book*. Springer, 2009
- [MH06] MEYER, Michael ; HÖNICK, Ulf: Sichere Telematikinfrastruktur im Gesundheitswesen. In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD* 30 (2006), 155-160. <http://dx.doi.org/10.1007/s02045-006-0045-2>. – ISSN 1614–0702
- [MHI11] MEISTER, Sven ; HOUTA, Salima ; IMPIDJATI: HL7-basierte Vernetzung von Erstem und Zweitem Gesundheitsmarkt als Enabler für Neue Präventions-Gesundheitsdienstleistungen. In: *Ambient Assisted Living - AAL - 4. Deutscher Kongress: Demographischer Wandel - Assistenzsysteme aus der Forschung in den Markt*, Vde Verlag GmbH, 2011

- [Mit10] MITSU, Theophano: *Temporal Data Mining (Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series)*. Chapman and Hall/CRC, 2010. – ISBN 1420089765
- [MK13] MEISTER, Sven ; KOCH, Oliver: Using Complex Event Processing and Context for Intelligent Information Filtering and Supply. In: SCHILLING, Klaus (Hrsg.) ; LEUTERT, Florian (Hrsg.): *1st IFAC Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control CESCIT 2012*, 2013
- [MKH09] MEISTER, Sven ; KOCH, Oliver ; HOUTA, Salima: Klassifikation telemedizinischer Anwendungen zur Erhebung von Anforderungen in E-Health@Home. In: *54. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie*. Düsseldorf : German Medical Science GMS Publishing House, 2009
- [MPM82] MILLER, R. A. ; POPLE, E. P. ; MYERS, J. D.: Internist-1, an experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine. In: *New England Journal of Medicine* Bd. 307, 1982, S. 468–478
- [MS12a] MEISTER, Sven ; STAHLMANN, Valentin: Telemedical ILOG Listeners: Information Logistics Processing of Telemedical Values Using CEP and HL7. In: WICHERT, R. (Hrsg.) ; EBERHARDT, B. (Hrsg.): *Ambient Assisted Living - Advanced Technologies and Societal Change*, Springer, 2012 (Springer Lecture Notes in Computer Science (LNCS)). – ISBN 978-3-642-27490-9
- [MS12b] MEISTER, Sven ; STAHLMANN, Valentin: Telemedizinische ILOG Listener: Informationslogistische Verarbeitung telemedizinischer Werte unter Nutzung von CEP und HL7. In: *Ambient Assisted Living - AAL - 5. Deutscher Kongress: Technik für ein selbstbestimmtes Leben.*, Vde Verlag GmbH, 2012. – ISBN 978-3-8007-3400-9
- [MSS13a] MEISTER, Sven ; SCHAFFER, Sven ; STAHLMANN, Valentin: TiEE - The Telemedical ILOG Event Engine: Optimization of Information Supply in Telemedicine. In: LANTOW, B. (Hrsg.): *6th International Workshop on Information Logistics, Knowledge Supply and Ontologies in Information Systems 2013 : 12th International Conference on Perspectives in Business Informatics Research* Bd. 1028, CEUR Workshop Proceedings, 2013
- [MSS13b] MEISTER, Sven ; SCHAFFER, Sven ; STAHLMANN, Valentin: TiEE: Telemedizinische ILOG Event Engine. In: *e-Health 2013 Informationstechnologien und Telematik im Gesundheitswesen*. Solingen : medical future Verlag, 2013. – ISBN 978-3-9814005-3-3
- [MSS⁺13c] MEISTER, Sven ; STAHLMANN, Valentin ; SCHAFFER, Sven ; WILKING, Tim ; KANDYBA, Andriy: FitPit – Fitness cockpit: information system to optimize training Schedules in Rehabilitation. In: *ECIS 2013 Proceedings* (2013), Nr. 106. <http://aisel.aisnet.org/ecis2013/106>
- [MYBK06] MAVIGLIA, Saverio M. ; YOON, Catherine S. ; BATES, David W. ; KUPERMAN, Gilad: KnowledgeLink: Impact of Context-Sensitive Information Retrieval on Clinicians' Information Needs. In: *J Am Med Inform Assoc* 13 (2006), Januar, Nr. 1, S. 67–73
- [NBR⁺12] NEUBERT, S. ; BEHRENDT, S. ; RIEGER, A. ; KUMAR, M. ; THUROW, K. ; STOLL, R.: Telemonitoring system and central real-time data processing for preventive medicine research. In: *Biomed Tech (Berl)* 57 Suppl 1 (2012)
- [NDW06] NEUHAUS, Jan ; DEITERS, Wolfgang ; WIEDELER, Markus: Mehrwertdienste im Umfeld der elektronischen Gesundheitskarte. In: *Informatik-Spektrum* 29 (2006), Nr. 5, S. 332–340. – ISSN 0170-6012
- [NHG⁺08] NEE, O. ; HEIN, A. ; GORATH, T. ; HÜLSMANN, N. ; LALECI, G.B. ; YUKSEL, M. ; OLDUZ, M. ; TASYURT, I. ; ORHAN, U. ; DOGAC, A. ; FRUNTELATA, A. ; GHIORGHE, S. ;

- LUDWIG, R.: SAPHIRE: intelligent healthcare monitoring based on semantic interoperability platform: pilot applications. In: *IET Communications* 2 (2008), Nr. 2, S. 192–201
- [NHGH06] NEE, Oliver ; HEIN, Andreas ; GORATH, Torsten ; HÜLSMANN, Nils: SAPHIRE: Intelligent Healthcare Monitoring based on Semantic Interoperability Platform - Pilot Applications / Scientific and Technical Research Council of Turkey. 2006. – Forschungsbericht
- [NKH03] NGUYEN, Trong D. ; KAWASAKI, Saori ; HO, Tu B.: Discovery of Trends and States in Irregular Medical Temporal Data. In: *Discovery Science*, 2003, S. 410–417
- [NM97] NICHOLAS, David ; MARTIN, Helen: Assessing information needs: a case study of journalists. In: *Aslib Proceedings* 49 (1997), 43 - 52. <http://dx.doi.org/10.1108/eb051447>
- [NS72] NEWELL, A. ; SIMON, H. A.: *Human Problem Solving*. Prentice-Hall, 1972. – 920 S.
- [NS73] NASSI, I. ; SHNEIDERMAN, B.: Flowchart techniques for structured programming. In: *SIGPLAN Not.* 8 (1973), Nr. 8, 12–26. <http://doi.acm.org/10.1145/953349.953350>. – ISSN 0362–1340
- [Nyh08a] NYHUIS, Peter (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik (German Edition)*. 1. Springer, 2008. – ISBN 9783540756415
- [Nyh08b] Kapitel 1. In: NYHUIS, Peter: *Entwicklungsschritte zu Theorien der Logistik*. Springer, 2008, S. 1–18
- [Oar97] OARD, Douglas W.: The state of the art in text filtering. In: *UMUAI* 7 (1997), S. 141–178
- [Pan86] PANYR, Jiri: *Automatische Klassifikation und Information Retrieval: Anwendung und Entwicklung komplexer Verfahren in Information-Retrieval-Systemen und ihrer Evaluierung*. Tuebingen, Diss., 1986
- [PHPE11] PEIRCE, Susan C. ; HARDISTY, Alex R. ; PREECE, Alun D. ; ELWYN, Glyn: Designing and implementing telemonitoring for early detection of deterioration in chronic disease: Defining the requirements. In: *Health Informatics Journal* 17 (2011), Nr. 3, S. 173–190
- [Reg13a] REGENSTRIEF: *Logical Observation Identifiers Names and Codes*. <http://www.loinc.org>. Version:2013
- [Reg13b] REGENSTRIEF INSTITUTE: *Logical Observation Identifiers Names and Codes*. <http://loinc.org/> [Accessed 22-August-2013]. Version:August 2013
- [RKM⁺09] REUTER, Claudia ; KÖNIGSMANN, T. ; MEISTER, S. ; HOUTA, S. ; NEUHAUS, Jan: CHOPIN: Toolbox for composition of telemedical services. In: *Second IASTED International Symposium on Telehealth and Assistive Technology*, ACTA Press, 2009
- [Rob10] ROBINSON, Mark A.: An empirical analysis of engineers' information behaviors. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 61 (2010), Nr. 4, 640–658. <http://dx.doi.org/10.1002/asi.21290>. – ISSN 1532–2890
- [Row07] ROWLEY, Jennifer: The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. In: *J. Inf. Sci.* 33 (2007), April, S. 163–180. – ISSN 0165–5515
- [Run00] RUNKLER, T.A.: *Information Mining: Methoden, Algorithmen und Anwendungen intelligenter Datenanalyse*. Vieweg, 2000 (Computational intelligence). – ISBN 9783528057411

- [Run10] RUNKLER, Thomas A.: *Data Mining*. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2010. – VIII, 165 S. : graph. Darst.. – ISBN 978–3–8348–0858–5
- [RW97] ROSENBLUM, David ; WOLF, Alexander: A design framework for internet-scale event observation and notification. Version:1997. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-63531-9_24. In: JAZAYERI, Mehdi (Hrsg.) ; SCHAUER, Helmut (Hrsg.): *Software Engineering — ESEC/FSE'97* Bd. 1301. Springer Berlin / Heidelberg, 1997, 344-360
- [SAM98] SILVERMAN, Barry G. ; ANDONYADIS, Christo ; MORALES, Alfredo: Web-based health care agents; the case of reminders and todos, too (R2Do2). In: *Artificial Intelligence in Medicine* 14 (1998), Nr. 3, S. 295 – 316. – ISSN 0933–3657
- [Sar96] SARACEVIC, Tefko: Relevance reconsidered. In: *Proceedings of the Second Conference on Conceptions of Library and Information Science* (1996), S. 201–218
- [SB05] SEIRIO, M ; BERNDTSSON, M: Design and Implementation of an ECA Rule Markup Language. In: *Lecture Notes in Computer Science* 3791 (2005), S. 98
- [Sch11] SCHEER, August-Wilhelm: *Information Overload? Wie die Deutschen mit Nachrichtenflut und Medienvielfalt umgehen*. 2011
- [Sch12] SCHAFER, Sven: *Konzeption und Entwicklung von TIL-Profilen auf Basis von Esper zur Verarbeitung telemedizinischer Ereignisse*, TU Dortmund, Diplomarbeit, 2012
- [SGP10] SØBERG, Jarle ; GOEBEL, Vera ; PLAGEMANN, Thomas: CommonSens: Personalisation of complex event processing in automated homecare. In: *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2010 Sixth International Conference on*, 2010, S. 275 –280
- [Sha48] SHANNON, C. E.: A mathematical theory of communication. In: *Bell system technical journal* 27 (1948)
- [Sha96] SHAHAR, Yuval: Knowledge-Based Temporal Interpolation. In: *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 11 (1996), S. 123–144
- [Sho74] SHORTLIFFE, Edward H.: A rule-based computer program for advising physicians regarding antimicrobial therapy selection. In: *ACM '74: Proceedings of the 1974 annual ACM conference*. New York, NY, USA : ACM, 1974, S. 739–739
- [SLG08] STOA, S. ; LINDBERG, M. ; GOEBEL, V.: Online analysis of myocardial ischemia from medical sensor data streams with Esper. In: *Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, 2008. ISABEL '08. First International Symposium on*, 2008, S. 1 – 5
- [Smi96] SMITH, Richard: What clinical information do doctors need? In: *BMJ* 313 (1996), 10, Nr. 7064, S. 1062–1068
- [Soc92] SOCIETY FOR MEDICAL DECISION MAKING: Proposal for Clinical Algorithm Standards: Society for Medical Decision Making Committee on Standardization of Clinical Algorithms. In: *Medical Decision Making* 12 (1992), Nr. 2, 149-154. <http://mdm.sagepub.com/content/12/2/149.short>
- [Spr13] <http://link.springer.com/> [Accessed 22-August-2013]
- [SSB94] SLAWSON, D. C. ; SHAUGHNESSY, A. F. ; BENNETT, J. H.: Becoming a medical information master: feeling good about not knowing everything. In: *J Fam Pract* 38 (1994), May, S. 505–513

- [Sta10] STAEMMLER, Martin: Trends und Entwicklungen der Krankenhaus-IT-Technologie. In: SCHLEGEL, Helmut (Hrsg.): *Steuerung der IT im Klinikmanagement*. Vieweg+Teubner, 2010. – ISBN 978–3–8348–9393–2, Kapitel 11, S. 181–203
- [Sta11a] STAHLMANN, Valentin: *Evaluation der Event Processing Engines Etalis und Esper zur Verarbeitung telemedizinischer Events*, TU Dortmund, Diplomarbeit, 2011
- [Sta11b] STANFORD UNIVERSITY: *Stride Emergency Setting*. <https://clinicalinformatics.stanford.edu/projects/notification.html>. Version:2011. – (Accessed 14-August-2013)
- [SVW10] SCHNURR, Felix ; VATTER, Johannes ; WEINMANN, Frank: Zum Kostenanstieg im Gesundheitswesen 2009: Wie teuer waren die Reformen? / Forschungszentrum Generationenverträge der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg, Juli 2010 (45). – Diskussionspapier
- [SWKB09] SCHMIDT, Andreas ; WOLF, Peter ; KLEIN, Michael ; BALFANZ, Dirk: SOPRANO Ambient Middleware: Eine offene, flexible und markt-orientierte semantische Dienstplattform für Ambient Assisted Living. In: *2. Deutscher Kongress Ambient Assisted Living, Berlin, Januar 2009*, VDE Verlag, 2009
- [TA00] TURBAN, Efraim ; ARONSON, Jay E.: *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice Hall PTR, 2000. – ISBN 0130894656
- [Tay68] TAYLOR, Robert S.: Question-Negotiation and Information Seeking in Libraries. In: *College and Research Libraries* (1968), Nr. 29, S. 178–194
- [TCL05] TULU, Bengisu ; CHATTERJEE, Samir ; LAXMINARAYAN, Swamy: A Taxonomy of Telemedicine Efforts with Respect to Applications, Infrastructure, Delivery Tools, Type of Setting and Purpose. In: *Proceedings of the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05) - Track 6 - Volume 06*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005. – ISBN 0–7695–2268–8–6, 147.2–
- [Tka98] TKACH, Daniel S.: Information Mining with the IBM Intelligent Miner Family / IBM. 1998. – Forschungsbericht
- [Tur08] *Kapitel 23 Telemedicine: Expanding Health Care into Virtual Environments*. In: TURNER, Jeanine W.: *Handbook of health communication*. Lawrence Erlbaum Publishers, 2008, S. 515–535
- [Vil82] VILAIN, Marc B.: A System for Reasoning About Time. In: *American Association for Artificial Intelligence*, 1982
- [Vil94] VILA, Llus: A survey on temporal reasoning in artificial intelligence. In: *AI Commun.* 7 (1994), Nr. 1, S. 4–28. – ISSN 0921–7126
- [VP10] VOIGT, Edgar ; PELIKAN, Jens ; VOIGT, Edgar (Hrsg.) ; PELIKAN, Jens (Hrsg.): *CO2-Messung in der Beatmung*. Dräger Medizintechnik GmbH, 2010. – ISBN 3–926762–37–3
- [VS11] VELEZ, Dalimar ; SHANBLATT, Michael: Taxonomy of current medical devices for POCT applications and the potential acceptance of Bluetooth technology for secure interoperable applications. In: *eHealth Networking Applications and Services Healthcom 2011 13th IEEE International Conference on* (2011), S. 292–299
- [Vuo06] VUORI, V.: Methods of Defining Business Information Needs. In: MAULA, M. (Hrsg.) ; HANNULA, M. (Hrsg.) ; SEPPÄ, M. (Hrsg.) ; TOMMILA, J. (Hrsg.): *Frontiers of e-Business Research ICEB + eBRF 2006 - Conference Proceedings.*, 2006, S. 311–319

- [Wer08] WERNER, Martin ; DAPPER, Reinhard (Hrsg.) ; BROBLER, Andrea (Hrsg.): *Information und Codierung: Grundlagen und Anwendungen (German Edition)*. 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2009. Vieweg+Teubner Verlag, 2008. – ISBN 9783834802323
- [WFCS09] WOLF, B. ; FRIEDRICH, P. ; CLAUSS, J. ; SCHOLZ, A.: Telematic Medical Systems for Individualized and Personalized Assistance. Version:2009. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-03904-1_4. In: MAGJAREVIC, Ratko (Hrsg.) ; DÖSSEL, Olaf (Hrsg.) ; SCHLEGEL, Wolfgang C. (Hrsg.): *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7 - 12, 2009, Munich, Germany* Bd. 25/5. Springer Berlin Heidelberg, 2009. – ISBN 978-3-642-03904-1, 13-16
- [Wil99] WILSON, T D.: Models in information behaviour research. In: *Journal of Documentation* 55 (1999), Nr. 3, S. 249–270
- [Wil01] WILSON, T. D.: Information Overload: Implications for Healthcare Services. In: *Health Informatics Journal* 7 (2001), S. 112–117
- [Wil08] WILLEMS, Jan: *From having to using - Information Logistics experience center is born*. 2008
- [WLMQ10] WEBER, S. ; LOWE, H. J. ; MALUNJKAR, S. ; QUINN, J.: Implementing a Real-time Complex Event Stream Processing System to Help Identify Potential Participants in Clinical and Translational Research Studies. In: *AMIA 2010* (2010), S. 472–476
- [Wor76] WORMLEY, W.P.: *Information logistics: local distribution (delivery) of information*. Harvard University, 1976 (Working paper)
- [Wor97] WORLD HEALTH ORGANIZATION: A Health Telematics Policy in Support of WHO's Health-For-All Strategy For Global Health Development / WHO Group Consultation on Health Telematics. Version:December 1997. http://whqlibdoc.who.int/hq/1998/WHO_DGO_98.1.pdf. Geneva, December 1997. – Forschungsbericht
- [Wor00] WORLD HEALTH ORGANISATION: Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. / WHO. Geneva, 2000. (WHO Technical Report Series 894). – Forschungsbericht
- [Wor10] WORLD HEALTH ORGANIZATION: Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009. / World Health Organization. 2010. – Forschungsbericht. – ISBN 978 92 4 156414 4
- [Wor13] http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html (Accessed 14-August-2013)
- [WRWE10] WANG, Di ; RUNDENSTEINER, Elke A. ; WANG, Han ; ELLISON, Richard T. III: Active complex event processing: applications in real-time health care. In: *Proc. VLDB Endow.* 3 (2010), September, S. 1545–1548. – ISSN 2150–8097
- [WSD⁺08] WINTER, Robert ; SCHMALTZ, Moritz ; DINTER, Barbara ; BUCHER, Tobias ; KLESSE, Mario ; LAHRMANN, Gerrit ; TÖPFER, Jochen ; WEGENER, Hans ; DINTER, Barbara (Hrsg.) ; WINTER, Robert (Hrsg.): *Integrierte Informationslogistik*. Springer Berlin Heidelberg, 2008 (Business Engineering). – ISBN 978-3-540-77578-2
- [WSL07] WALZER, Karen ; SCHILL, Alexander ; LÖSER, Alexander: Temporal constraints for rule-based event processing. In: *Proceedings of the ACM first Ph.D. workshop in CIKM*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (PIKM '07). – ISBN 978-1-59593-832-9, S. 93–100
- [WW03] WHITWORTH, Judith A. ; WORLD HEALTH ORGANIZATION, INTERNATIONAL SOCIETY OF HYPERTENSION WRITING GROUP: 2003 World Health Organization

(WHO)/International Society of Hypertension (ISH) statement on management of hypertension. In: *Journal of hypertension* 21 (2003), November, Nr. 11, 1983–1992. <http://dx.doi.org/10.1097/01.hjh.0000084751.37215.d2>. – ISSN 0263–6352

[WWH09] WILLEMS, Anouk ; WILLEMS, Jan ; HAJDASINSKI, Andrzej: Information Logistics Research Report - Frameworks in Healthcare Industry / Nyenrode Research and Innovation Institute. Version:2009. [http://www.nyenrode.nl/FacultyResearch/research/Documents/-Research Paper Series/2009/NRI 09-04 digitale versie 31jul09\(website\).pdf](http://www.nyenrode.nl/FacultyResearch/research/Documents/-Research Paper Series/2009/NRI 09-04 digitale versie 31jul09(website).pdf). 2009 (09-04). – Forschungsbericht. – (Accessed 14-August-2013)

[Wya91] WYATT, J: INFORMATION FOR CLINICIANS Use and sources of medical knowledge. In: *The Lancet* 338 (1991), Nr. 8779, 1368–1373. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1682745>

[XWSH10] XU, Yongchun ; WOLF, Peter ; STOJANOVIC, Nenad ; HAPPEL, Hans-Jörg: Semantic-based Complex Event Processing in the AAL Domain. In: POLLERES, Axel (Hrsg.) ; CHEN, Huajun (Hrsg.): *9th International Semantic Web Conference ISWC 2010*, 2010, S. 9–12

[Yan09] YANG, Ping: *Adaptive Trend Change Detection and Pattern Recognition in Physiological Monitoring*, THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA, Diss., 2009

[YD11] YUKSEL, M. ; DOGAC, A.: Interoperability of Medical Device Information and the Clinical Applications: An HL7 RMIM based on the ISO/IEEE 11073 DIM. In: *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* 15 (2011), july, Nr. 4, S. 557 –566. – ISSN 1089–7771

[Zel87] ZELENY, Milan: Management support systems: Towards integrated knowledge management. In: *Human Systems Management* 7 (1987), Nr. 1, 59–70. <http://www.milanzeleny.com/documents/publications/mss.pdf>

[ZH07] ZHOU, Li ; HRIPCSAK, George: Temporal reasoning with medical data–A review with emphasis on medical natural language processing. In: *Journal of Biomedical Informatics* 40 (2007), Nr. 2, S. 183 – 202. – ISSN 1532–0464