

Inhalt

Glossar und Abkürzungsverzeichnis — XIX

- 1 Einleitung — 1**
- 2 Stand der Technik – Konventionelle Ganganalyse — 4**
- 2.1 Historie der Ganganalyse — 4
 - 2.2 Grundlagen des Ganges — 5
 - 2.3 Gangphasen — 6
 - 2.4 Ziele der Ganganalyse – Besonders in der Prothetik — 8
 - 2.5 Messprinzipien der Ganganalyse — 9
 - 2.6 Einflüsse auf Ganganalysemessungen und ihre Limitationen — 10
- 3 Gang und Prothetik — 12**
- 3.1 Häufigkeit von Amputationen — 12
 - 3.2 Gang des Amputierten – Spezifische Merkmale und Defizite — 14
- 4 Strukturfestigkeitsprüfung nach ISO 10328 — 18**
- 4.1 Relevanz der ISO 10328 — 18
 - 4.2 Rahmenbedingungen der ISO 10328 — 18
 - 4.3 Entstehung der ISO 10328 — 19
 - 4.4 Prüfbedingungen und Ablauf der ISO 10328 — 20
 - 4.5 Prüfungen zur Funktion — 22
 - 4.6 Anwendungsbereich der ISO 10328 — 23
- 5 Stand der Technik – Belastungsmessungen — 25**
- 5.1 Möglichkeiten zur Bestimmung der Prothesennutzung — 25
 - 5.2 In Forschungsprojekten entwickelte mobile Messsysteme für den Protheseneinsatz — 26
 - 5.3 Kommerzielle mobile Messsysteme für den Protheseneinsatz — 29
- 6 Entwicklung des mobilen Messsystems — 34**
- 6.1 Anforderungen an das Messsystem — 34
 - 6.2 Sensoraufbau — 35
 - 6.2.1 Beschreibung des Messprinzips — 35
 - 6.2.2 Geometrie des Sensorträgers — 36
 - 6.2.3 Schraubenoptimierung — 39
 - 6.2.4 Materialauswahl — 40
 - 6.3 Finite-Elemente-Analyse des Sensorträgers — 41
 - 6.3.1 Ablauf und Zielstellung der Finite-Elemente-Analyse — 41

6.3.2	Verwendete Berechnungsmethode — 42
6.3.3	Finite-Elemente-Methode basierte Geometrieoptimierung — 43
6.3.4	Positionierung der Dehnungsmessstreifen — 44
6.3.5	Finite-Elemente-Analyse der Anbindungen — 45
6.4	Validierung mittels Beanspruchungssimulation — 46
6.4.1	Validierungsmethoden — 46
6.4.2	Validierung der Verschiebungen und Dehnungen — 47
6.4.3	Fazit der Validierung mittels Beanspruchungssimulation — 49
6.5	Optimierung des Hysterese-Einflusses — 50
6.5.1	Definition der Hysterese — 50
6.5.2	Experimentelle Hystereseuntersuchung bei Biegung und Torsion — 50
6.5.3	Finite-Elemente-Analyse der Hysterese bei Torsion — 52
6.6	Elektronik-Komponenten des Messsystems — 53
6.6.1	Elektronische Bestandteile des Messsystems — 53
6.6.2	Anforderungen an die Sensorelektronik — 54
6.6.3	Auswahl der Dehnungsmessstreifen — 54
6.6.4	Verschaltung der Dehnungsmessstreifen — 55
6.6.5	Maximale und minimale Signalgröße der Dehnungsmessstreifen — 55
6.6.6	Verstärkerelektronik — 56
6.6.7	Strom- bzw. Spannungsversorgung — 58
6.6.8	Winkelsensoren — 59
6.6.9	Drucksensoren — 60
6.7	Datenlogger — 62
6.7.1	Anforderungen und Funktionen des Datenloggers — 62
6.7.2	Abtastfrequenz für Belastungsmessungen — 62
6.7.3	getemed-Logger und Smartlogger — 63
6.8	Zulassung und Risikoanalyse — 66
6.8.1	CE-Kennzeichnung — 66
6.8.2	Risikomanagement — 67
6.8.3	Strukturfestigkeitsprüfung nach ISO 10328 — 67
6.8.4	EMV-Prüfung — 69
6.9	Fazit Entwicklung des mobilen Messsystems — 70
7	Kalibrierung des Messsystems — 71
7.1	Ziel der Kalibrierung — 71
7.2	Entwicklung des Kalibriersystems — 72
7.2.1	Anforderungen an das Kalibriersystem — 72
7.2.2	Theorie der Kalibrierung — 72
7.2.3	Überprüfung der Kalibrierung — 74
7.2.4	Manuelles Kalibriersystem — 74
7.3	Optimierung des Kalibriersystems – Calibrator — 76
7.3.1	Zusätzliche Anforderungen an die Kalibrierung des Oktapod — 76

7.3.2	Konstruktion des Aufnahme-Adapters — 77
7.3.3	Aktorik — 77
7.3.4	Mehrkomponentenaufnehmer als Referenzwertgeber — 79
7.3.5	Konzeption des Calibrators — 79
7.4	Analyse der Kalibrierergebnisse — 80
7.4.1	Analyse im Calibrator — 80
7.4.2	Analyse außerhalb des Calibrators — 81
7.5	Optimierung der Kalibrierung — 85
7.5.1	Systematik der Kalibriermatrix — 85
7.5.2	Vergleiche mit Kalibrierungen verschiedener Lastkonfigurationen — 88
7.5.3	Langzeitbeständigkeit der Kalibrierung — 89
7.6	Fazit Untersuchungen zur Kalibrierung des Messsystems — 89
8	Mobiles Messsystem und Labor-Ganganalyse – Ein Vergleich — 90
8.1	Zielsetzung des Vergleichs — 90
8.2	Modellbildung in der Ganganalyse — 91
8.3	Material und Methode des Vergleichs — 92
8.3.1	Einbau und Vermessung — 92
8.3.2	Transformationen — 93
8.3.3	Fehler bei der Transformation — 95
8.3.4	Beschreibung des Ganganalysemessplatzes — 98
8.4	Ergebnisse der Messungen — 100
8.4.1	Ganganalyse an der Medizinischen Hochschule Hannover — 100
8.4.2	Erklärung für Abweichungen — 107
8.4.3	Messungen in der Ganganalyse Göttingen — 109
8.5	Diskussion des Vergleichs — 111
8.5.1	Fazit Ganganalysesystemvergleich — 111
8.5.2	Vergleich mit anderen Studien — 111
8.5.3	Mehrkörpersimulation Medizinische Hochschule Hannover — 114
9	Softwareunterstützte Datenauswertung — 116
9.1	Konzept der Messdatenauswertung und Datenmanagement — 116
9.2	Programme zur Datenanzeige und Datenauswertung — 117
9.2.1	MDV — 117
9.2.2	DATALab — 118
9.3	Koordinatentransformation — 120
9.3.1	Beschreibung der Koordinatentransformation — 120
9.3.2	Gültigkeitsbereich der Koordinatentransformation — 121
9.4	Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Mustererkennung — 123
9.4.1	Ziel und Konzept — 123
9.4.2	Allgemeine Ansätze zur Mustererkennung — 123

9.4.3	Analyse verschiedener Verfahren zur Mustererkennung — 125
9.4.4	Fazit geeignetes Verfahren zur Mustererkennung — 129
9.5	Umsetzung der Mustererkennung — 129
9.5.1	Bereichsdetektion — 129
9.5.2	Typisierung — 131
9.5.3	Limitationen Mustererkennung — 146
9.5.4	Erkennungsraten Mustererkennung — 147
9.5.5	Fazit Umsetzung Mustererkennung — 155
9.6	Auswertung Bauteilbelastungen — 155
9.6.1	Ziele der Auswertung — 155
9.6.2	Histogramme — 156
9.6.3	Bereichshistogramme — 158
9.6.4	Datensieb bzw. Überlastdetektion — 160
9.7	Auswertung Geschwindigkeit — 161
9.7.1	Geschwindigkeitsberechnung — 161
9.7.2	Analyse der Geschwindigkeitsmessungen — 164
9.8	Messdatenverarbeitung, Datenbankmanagement — 166
9.8.1	Übersicht über die Datenverarbeitung — 166
9.8.2	Kartenmanagement und Einlesen der Karten — 166
9.8.3	Datenbankstruktur — 167
9.8.4	Cluster Control und Report — 168
9.8.5	Auswertungsmakro – Ergebniszusammenfassung — 169
9.8.6	Datenbankstatistik — 172
10	Pilotphasenstudie — 173
10.1	Ziele und Probanden der Pilotphase — 173
10.2	Einbau des Messsystems — 174
10.3	Ergebnisse der Pilotphase — 174
10.3.1	Ausgabeparameter Pilotphase — 174
10.3.2	Bereichsanalyse und Probandenaktivität Pilotphase — 175
10.3.3	Lastzyklen Pilotphase — 177
10.3.4	Histogramme Pilotphase — 178
10.3.5	Weitere Gangparameter Pilotphase — 181
10.3.6	Einzelschritt betrachtung Pilotphase — 181
10.4	Fazit Pilotphase — 183
11	Studiendesign für die Studienphase — 184
11.1	Konzeption und Vorbereitung der Studienphase — 184
11.1.1	Ziel der Studie — 184
11.1.2	Art der Studie – Ethikkommission — 184
11.1.3	Planung der Versorgung und Probandenkollektive — 185
11.1.4	Auswahl der Kniegelenke der Studienphase — 186

11.1.5	Auswahl kooperierender Sanitätshäuser — 187
11.1.6	Festlegung der Anzahl der Studienteilnehmer — 187
11.1.7	Übersicht über die Studienteilnehmer — 188
11.2	Einbau des Messsystems und Prothesenaufbau — 189
11.2.1	Randbedingungen des Prothesenaufbaus — 189
11.2.2	Aufbauvermessung mit L.A.S.A.R. Assembly und L.A.S.A.R. Posture — 190
11.2.3	Biomechanische Aufbauparameter — 191
11.2.4	Alternative Ansätze zur Objektivierung des Prothesenaufbaus — 192
11.2.5	Aufbauvermessung Studienphase — 193
11.2.6	Offseteinstellung der Winkelsensoren — 195
11.2.7	Parcours – Testmessung — 196
11.3	Kniegelenke der Studienphase — 197
11.3.1	Funktion der Prothesenkniegelenke für den Amputierten — 197
11.3.2	3R60 – Modular-EBS-Kniegelenk mit hydraulischer Schwungphasensteuerung — 199
11.3.3	C-Leg® – mikroprozessorgesteuertes Kniegelenksystem — 200
11.3.4	Weitere verwendete Prothesenkomponenten — 204

12 Ergebnisse der Studienphase — 206

12.1	Mobilität und Aktivität — 206
12.1.1	Definition von Mobilität und ihrer Bewertung — 206
12.1.2	Begriffsabgrenzung zwischen Aktivität und Mobilität — 207
12.2	Einflussfaktoren auf Mobilität und Aktivität — 207
12.2.1	Ziel der Erfassung von Einflussfaktoren — 207
12.2.2	Einflüsse auf die Prothesennutzung — 208
12.2.3	Einflüsse auf den metabolischen Energieverbrauch — 211
12.2.4	Einflüsse auf die Sturzhäufigkeit — 215
12.2.5	Einflüsse auf Reha-Maßnahmen — 218
12.2.6	Fazit Einflussfaktoren auf Mobilität und Aktivität — 219
12.3	Mobilitätsbewertung — 219
12.3.1	Indikations- und bedarfsgerechte Komponentenauswahl — 219
12.3.2	Profilerbungsbogen — 220
12.3.3	Literatur zu Möglichkeiten der Mobilitätsbewertung — 222
12.3.4	Vergleichsstudie von Scores und funktionalen Tests zur Mobilitätsbewertung — 226
12.3.5	Vergleich der Mobilitätsbewertungen mit Daten der Studienphase — 229
12.4	Aktivitätsbewertung — 238
12.4.1	Möglichkeiten zur Aktivitätsbewertung — 238
12.4.2	Motivation des Vergleiches von Oktapod und Aktivitätsmessern — 239
12.4.3	Kommerzielle Systeme zur Aktivitätsvergleichsmessung — 240

12.4.4	Vorstudie Aktivitätssmessung – vier kommerzielle Systeme — 245
12.4.5	Pilotstudie Aktivitätssmessung mit TFA-Proband — 254
12.4.6	Langzeitstudie Aktivitätssmessung mit TFA-Proband — 257
12.4.7	Diskussion und Fazit – Vor-, Pilot- und Langzeitstudie der Aktivitätssmessung — 261
12.5	Probandenvergleich — 265
12.5.1	Biomechanische Gangparameter — 265
12.5.2	Gehen in der Ebene – Ganganalyse mit 15 Probanden — 266
12.5.3	Gang von TFA auf Rampen und Treppen — 273
12.5.4	Vergleich der Kniegelenke – 3R60 versus C-Leg – Treppe runter — 280
12.5.5	Fazit Probandenvergleich — 280
12.6	Ergebnisse Bereichsanalyse Studienphase — 282
12.6.1	Ergebnisse Studie – Bereichsanalyse Gangmuster — 282
12.6.2	Auswertung Geschwindigkeit und weitere Gangparameter — 295
12.6.3	Dynamik bei Schwerengewichtigen TTA — 299
12.6.4	Bereichsanalyse – Lastfälle — 300
12.6.5	Statistische Auswertungen – Bereichsanalyse — 301
12.7	Ergebnisse Bereichshistogramme Studienphase — 303
12.7.1	Ergebnisse Studie – Belastungen — 303
12.7.2	Neusortierung der lokalen Maxima und Minima — 303
12.7.3	Histogramme der Lasten – Gehen und musterübergreifend — 304
12.7.4	Histogramme der Lasten – Treppen und Rampen — 311
12.7.5	Histogramme der Lasten – Vergleich von vier Spezialmustern — 316
12.7.6	Bereichshistogramme — 318
12.7.7	Korrelation von Kraft und Moment — 324
12.7.8	Statistische Auswertungen – Belastungen — 325
12.8	Ergebnisse Datensieb Studienphase — 328
12.8.1	Ergebnisse Studie – Überlasten — 328
12.8.2	Überlasten – Belastungshistogramme — 332
12.8.3	Überlasten – Bereichshistogramme — 336
12.8.4	Überlasten – Überläufer bzw. Extremwerte — 339
12.8.5	Statistische Auswertungen – Überlasten — 342
12.8.6	Fazit Datensieb — 343
13	Grundlagen der Werkstofftechnik — 344
13.1	Ziel der Betrachtung und Datenbasis — 344
13.2	Experimentelle Lebensdauerermittlung — 345
13.2.1	Wöhlerversuch und Wöhlerlinie — 345
13.2.2	Einflüsse auf die Beanspruchbarkeit bei konstanter Amplitude — 346
13.2.3	Betriebsbeanspruchung — 347
13.2.4	Kollektiverstellung und Betriebsfestigkeitsversuch zur Lebensdauerermittlung — 348

13.2.5	Einflüsse auf die Beanspruchbarkeit bei veränderlicher Amplitude — 350
13.3	Rechnerische Lebensdauerermittlung — 352
13.3.1	Grundsätzliches Vorgehen der rechnerischen Lebensdauerermittlung — 352
13.3.2	Nennspannungskonzept und örtliches Konzept — 354
13.3.3	Schadensakkumulationshypotesen — 356
13.4	Konstruktionsphilosophien — 360
13.4.1	Sichere Lebensdauer (safe-life) — 360
13.4.2	Schadenstolerante Konstruktion (damage-tolerant, fail-safe) — 361
13.5	Anwendung der Messdaten der Mobilitätsuntersuchungen — 363
14	Alternativer Prüfvorschlag — 365
14.1	Randbedingungen für die Erstellung eines alternativen Prüfvorschlag — 365
14.1.1	Aufgabe von und Anforderungen an Prüfverfahren — 365
14.1.2	Studien zur Quantifizierung von Prüfbelastungen — 366
14.1.3	Vergleich der Lastkollektive und Kritik an der ISO 10328 — 368
14.1.4	Übertragung der Daten zu einem alternativen Prüfvorschlag — 371
14.2	Alternative Prüfkonfigurationen — 372
14.2.1	ISO 10328 modifiziert – Messungen an TFA und Hüftexartikulierten — 372
14.2.2	Kollektiv – 80 %-Signalkurven — 381
14.2.3	3-D-Lastvektoren aus den Ergebnissen der Bereichsanalyse — 398
14.2.4	Anzahl der Lastzyklen — 404
14.2.5	Zusammenhang Belastungshöhe zu Anzahl der Lastzyklen — 404
14.3	Fazit des alternativen Prüfvorschlag — 405
15	Schlussfolgerungen und Ausblick — 409
16	Literatur — 415
17	Anhang — 437
A	Lebenslauf — 437
B	Verzeichnis projektbezogener Veröffentlichungen — 438
B-1	Zeitschriftenartikel — 438
B-2	Kongressvorträge — 438
C	Verzeichnis projektbezogener studentischer Arbeiten — 439
C-1	Diplomarbeiten — 439
C-2	Studienarbeiten — 439
C-3	Bachelorarbeiten — 439
C-4	Masterarbeiten — 439

D	Zu Kapitel 4 — 440
D-1	ISO 10328 Offsets und Lasten — 440
E	Zu Kapitel 6 — 441
E-1	DMS Datenblatt — 441
E-2	EMV Bericht — 443
F	Zu Kapitel 7 — 446
F-1	Kalibrierung — 446
G	Zu Kapitel 8 — 447
G-1	Ganganalysevergleich — 447
H	Zu Kapitel 10 — 449
H-1	Einstellungen Pilotphase — 449
I	Zu Kapitel 11 — 451
I-1	Profilerhebungsbogen und Messprotokoll — 451
I-2	Einstellungen Mustererkennung Studienphase — 457
I-3	Individuelle Einstellungen Mustererkennung Studienphase — 458
I-4	Koordinatentransformation Konventionen — 464
I-5	Aufbau- und Einbauparameter – Studienphase — 465
I-6	Aufbauveränderung Proband 11 — 469
J	Zu Kapitel 12 — 471
J-1	Profilerhebungsbogen — 471
J-2	AMP — 475
J-3	LCI — 477
J-4	Vergleich von vier kommerziellen Systemen — 478
J-5	Probandendaten – Schrittzählerpilotphase — 480
J-6	Probandenvergleich — 482
J-7	Lastzyklen pro Tag nach Jahreszeit — 488
J-8	Ergebnisse Anzahl Muster pro Tag — 489
J-9	Ergebnisse Bereichshistogramme — 491
J-10	Belastungshistogramme — 500
J-11	Bereichshistogramme — 503
J-12	Beispiele für Überlasten — 507
J-13	Überlasten bei weiteren Probanden — 513
J-14	Beispiele Überläufer — 515
K	Zu Kapitel 13 — 519
K-1	Übersicht über Random-Versuche — 519
L	Zu Kapitel 14 — 520
L-1	Sprung auf Prothese — 520
L-2	Prüfvorschlag — 521
L-3	IPOS-Belastungsklassen — 523