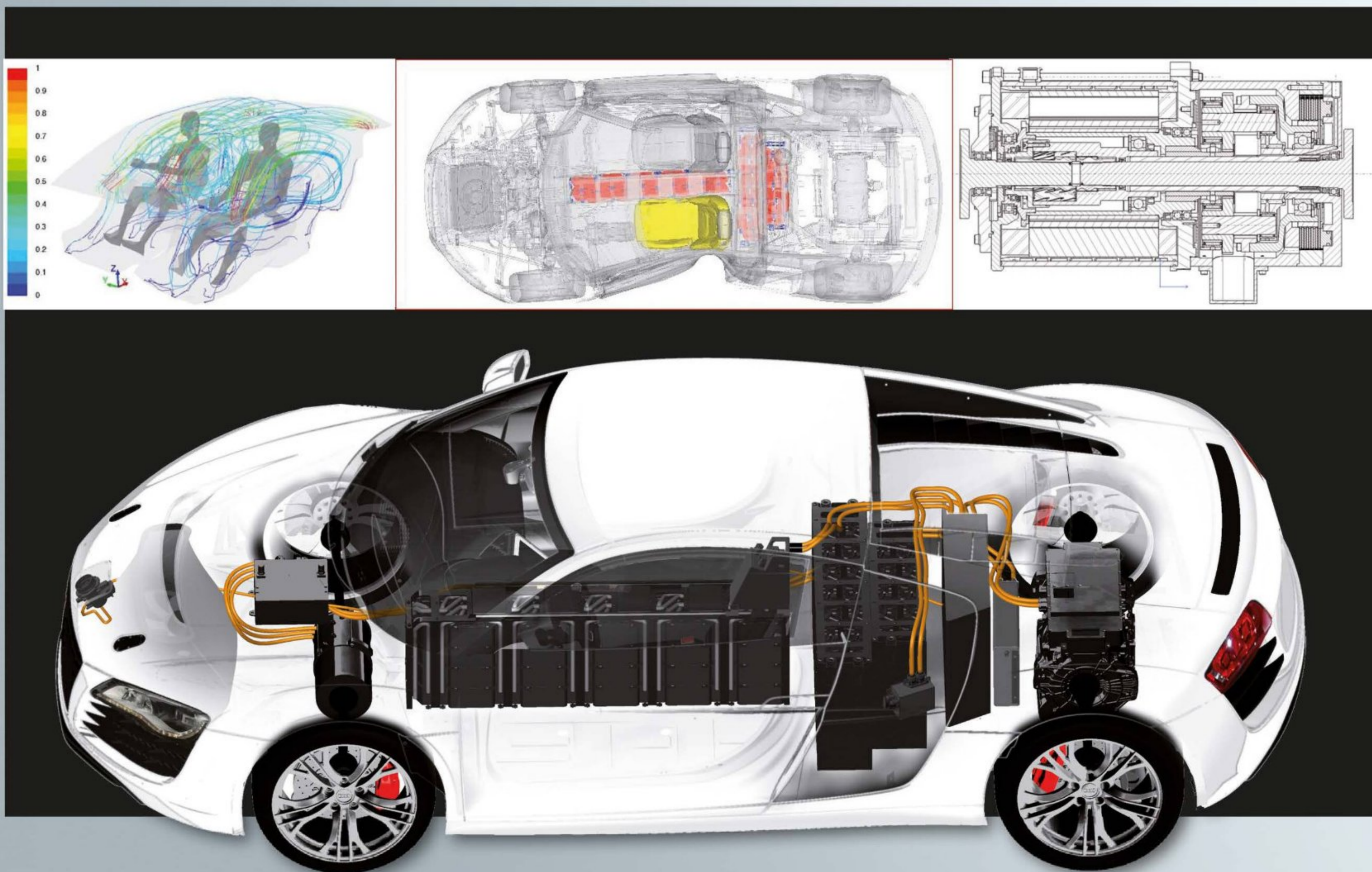


Forschungsprojekt e performance

Modularer Systembaukasten für elektrifizierte Fahrzeuge

Johannes Landgraf
Martin Schüssler
Christian Allmann (Hrsg.)



**Inhalt**

1	Vorwort und Danksagung	15
2	Einführung	16
2.1	Einleitung	16
2.2	Motivation und übergeordnete Aufgabenstellung des Projekts	16
2.3	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	17
2.4	Planung und Organisation des Projekts	18
2.4.1	Projektpartner	18
2.4.2	Projektstruktur und Arbeitspakete	19
2.4.3	Ablauf.....	22
2.5	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	23
2.5.1	Übersicht.....	23
2.5.2	Energiespeicher	24
2.5.3	Elektrischer Antrieb	25
2.5.4	Leistungselektronik	26
2.5.5	Karosserie.....	27
2.5.6	Bordnetz.....	28
2.6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	28
2.7	Literatur und Referenzen.....	30
3	Ganzheitlicher und modularer Ansatz.....	32
3.1	Herausforderungen und Ziele.....	32
3.2	Konzepte und Lösungen	32
3.2.1	Modulares Batteriesystem.....	33
3.2.2	Modulare HV-Architektur.....	35
3.2.3	Modulare Vernetzungsarchitektur	37
3.2.4	Diversifiziertes Antriebssystem	38
3.3	Fahrzeugkonzepte aus dem modularen Baukasten	39
3.3.1	e sport.....	39



3.3.2	e city	40
3.3.3	e family	41
3.4	Literatur und Referenzen	44
4	Demonstrator	45
4.1	Eigenschaften	45
4.2	Karosserie	47
4.3	Aufbau	49
5	Karosserie und Leichtbau.....	53
5.1	Herausforderungen und Ziele	53
5.2	Konzepte und Lösungen.....	53
5.2.1	Erhöhung der passiven Sicherheit und Leichtbaugüte mit Hilfe eines im Crash deformierbaren Batteriesystems.....	54
5.2.2	Gewichtseinsparung durch FVK-Bauteile mit Thermoplastmatrix.....	56
5.3	Umsetzung	57
5.3.1	Die Karosserie des Demonstratorfahrzeugs F12.....	57
5.3.2	Entwicklung und Aufbau crashdeformierbarer Batteriesysteme	66
5.3.3	Entwicklung und Fertigung von FVK-Bauteilen für die Struktur des Demonstratorfahrzeugs F12	77
5.4	Test und Inbetriebnahme.....	88
5.4.1	Quasistatischer Versuch an einzelner Makrozelle.....	88
5.4.2	Komponententest am Batteriemodul	91
5.5	Verbau und Integrationstests.....	96
5.6	Lessons Learned und Handlungsbedarfe	98
5.7	Literatur	100
6	Energiespeicher	101
6.1	Herausforderungen und Ziele	101
6.2	Konzepte und Lösungen.....	101
6.2.1	Packebene	101



6.2.2	Makrozellkonzept	102
6.3	Umsetzung	103
6.3.1	Entwicklung und Konstruktion der Makrozellen.....	103
6.3.2	Konstruktion des Batteriesystems.....	112
6.3.3	Entwicklung und Konstruktion der Schützbox	116
6.3.4	Aufbau des Batteriemanagementsystems (Hardware).....	119
6.3.5	Algorithmen für das Batteriemanagementsystem	128
6.3.6	Komponententest Batteriepack	140
6.4	Verbau und Integrationstests	144
6.4.1	Verbau der Makrozellen	144
6.5	Zukünftiger Handlungsbedarf und „Lessons Learned“	145
6.6	Literatur und Referenzen.....	146
7	Antrieb	148
7.1	Herausforderungen und Ziele.....	148
7.2	Konzepte und Lösungen	148
7.2.1	Bedarfsabschätzung der benötigten Drehmomente und Leistungen	148
7.2.2	Methodik zur Konzeption des Antriebssystems.....	155
7.2.3	Auswahl Antriebskonzept: VA, HA, Allrad	163
7.2.4	Vorderachskonzept im Demonstrator.....	164
7.2.5	Elektrisches Schalten.....	164
7.2.6	Hinterachskonzept im Demonstrator	166
7.3	Umsetzung	166
7.3.1	Auswahl Getriebetyp, Kupplung und Differential am Vorderachsmodule ..	166
7.3.2	Auslegung der elektrischen Maschine für das Vorderachsmodule.....	180
7.3.3	Weiterführende Gesichtspunkte im Entwurfsprozess.....	186
7.4	Test und Inbetriebnahme	199
7.4.1	Prüfstandsumgebung	199
7.4.2	Inbetriebnahmetests des Vorderachsmodule	201
7.5	Lessons Learned und Handlungsbedarfe.....	203



7.6	Literatur und Referenzen	204
8	Hochvoltarchitektur	208
8.1	Herausforderungen und Ziele	208
8.2	Modellierung der Komponenten.....	209
8.2.1	Antriebswechselrichter	209
8.2.2	DC/DC-Wandler	210
8.3	Umsetzung des Optimierungsprozesses	211
8.4	Simulationsergebnisse.....	213
8.4.1	Antriebswechselrichter	214
8.4.2	Vergleich der Systeme mit und ohne DC/DC-Wandler	215
8.4.3	Evaluation der DC/DC-Wandler-Topologien.....	216
8.5	Festlegung der Hochvoltarchitektur	217
8.6	Lessons Learned und Handlungsbedarfe	219
8.7	Literatur und Referenzen	220
9	Leistungselektronik	221
9.1	DC/DC-Wandler und Umrichter	221
9.1.1	Konzepte und Lösungen.....	221
9.1.2	Gemeinsame Komponenten.....	224
9.1.3	Hochvolt-DC-DC-Wandler	232
9.1.4	Antriebsumrichter	247
9.1.5	Niedervolt-DC/DC-Wandler	274
9.1.6	Halbleiterpackaging	279
9.2	Lessons Learned und Handlungsbedarfe	286
9.3	On-Board-Ladegerät.....	288
9.3.1	Herausforderungen und Ziele.....	288
9.3.2	Konzepte und Lösungen.....	289
9.3.3	Umsetzung	291
9.3.4	Test und Verifikation.....	298



9.3.5	Leassons Learned	299
9.3.6	Ausblick.....	300
9.4	Literatur und Referenzen.....	300
10	Fahrzeugregler- und steuerung	303
10.1	Fahrzeugsteuerung	303
10.1.1	Herausforderungen und Ziele	303
10.1.2	Konzepte und Lösungen.....	304
10.1.3	Umsetzung	305
10.1.4	Test und Inbetriebnahme.....	332
10.1.5	Handlungsbedarfe (nach Ende des Projektes)	352
10.2	Fahrdynamikregelung.....	352
10.2.1	Fahrdynamische Potenzialanalyse dezentraler Antriebsstrangarchitekturen	353
10.2.2	Fahrdynamikregelung von E-Fahrzeugen.....	355
10.2.3	Fahrdynamikregelung für das Demonstratorfahrzeug.....	362
10.3	Literatur und Referenzen.....	364
11	Bordnetz	365
11.1	Herausforderungen und Ziele.....	365
11.2	Konzepte und Lösungen	366
11.3	Umsetzung im Fahrzeug	374
11.4	Test und Inbetriebnahme	377
11.5	Handlungsbedarfe und Ausblick.....	380
12	Vernetzung	381
12.1	Herausforderungen und Ziele.....	381
12.2	Konzepte und Lösungen	385
12.3	Umsetzung im Fahrzeug	393
12.4	Simulation	408
12.5	Test und Inbetriebnahme	417



12.6	Handlungsbedarfe und Ausblick	423
12.7	Literatur	424
13	Thermomanagement.....	424
13.1	Vorbemerkungen	425
13.2	Herausforderungen und Ziele	425
13.3	Konzepte und Lösungen.....	426
13.3.1	Aktive und passive Maßnahmen zur Senkung des Wärme- bzw. Kältebedarfs der Fahrgastzelle.....	426
13.3.2	Kombinierte Kühl- und Beheizungsanlage	431
13.3.3	Kühlkreisläufe mit bedarfsgerechter Kälte- und Wärmebereitstellung.....	437
13.3.4	Regelung und Software.....	458
13.4	Ergebnisse.....	465
13.4.1	Simulative Potentialermittlung zur Abwärmerückgewinnung.....	465
13.4.2	Messung zur Innenraumbeheizung	466
13.5	Handlungsbedarf	470
13.6	Literatur und Referenzen	471
14	Akustik.....	471
14.1	Herausforderungen und Ziele	472
14.2	Konzepte und Lösungen.....	474
14.2.1	Aggregatlagerung.....	474
14.2.2	Aktives Sounddesign.....	475
14.3	Umsetzung	480
14.3.1	Modellierung Längsdynamik und Aggregatlagerung	480
14.4	Verbau und Integrationstests.....	505
14.5	Lessons Learned und Handlungsbedarfe	505
15	HMI	506
15.1	Übersicht	506



15.2	Herausforderungen und Ziele.....	507
15.3	Konzepte und Lösungen	508
15.3.1	Modulare Software-Architektur	510
15.3.2	Auswahl der Hardware-Komponenten	513
15.4	Umsetzung.....	514
15.4.1	Arbeits- und Aufgabenumfeld der projektbeteiligten Unternehmen.....	514
15.4.2	iPad-Applikation F12.....	517
15.4.3	Frei programmierbares Kombi-Instrument	530
15.4.4	Fahrstufenbedienelement in der Mittelkonsole	541
15.4.5	Konzeptentwurf für Steuerung Ladevorgang	542
15.4.6	HMI-Präsentationsterminal	545
15.5	Test, Verbau und Inbetriebnahme	546
15.6	Handlungsbedarfe	548
16	Absicherung.....	550
16.1	Gesamtfahrzeugsimulation.....	550
16.1.1	Einführung	550
16.1.2	Stand der Simulationsnutzung	552
16.1.3	Stand der Simulationstechnik	553
16.1.4	Herausforderungen und Ziele	559
16.1.5	Konzepte und Lösungen	561
16.1.6	Umsetzung	566
16.1.7	Workflow aus Sicht eines Entwicklers.....	581
16.1.8	Workflow aus Sicht eines Anwenders.....	583
16.1.9	Ergebnisse der Simulation.....	584
16.1.10	Handlungsbedarfe und Lessons Learned.....	587
16.2	Funktionale Sicherheit.....	588
16.2.1	Herausforderungen und Ziele	588
16.2.2	Elektrifizierter Antriebsstrang	590
16.2.3	Konzepte und Lösungen	591



16.2.4	Umsetzung	593
16.2.5	Technisches Sicherheitskonzept des elektrifizierten Antriebsstrangs .	599
16.2.6	Test und Inbetriebnahme	603
16.2.7	Verbau und Integrationstests	603
16.2.8	Lessons Learned und Handlungsbedarfe	603
16.3	Literatur und Referenzen	604
17	Weitere Demonstratoren	605
17.1	Adsorptionsspeicher	605
17.1.1	Motivation.....	605
17.1.2	Arbeitsweise eines Adsorptionsspeichers	606
17.1.3	Untersuchungsergebnisse	609
17.1.4	Zusammenfassung und Ausblick	611
17.1.5	Literatur und Referenzen	612
17.2	Pedalhaptiksimulator	612
17.2.1	Hintergrund – Kerninhalte – Kernziele	612
17.2.2	Stand der Wissenschaft und Technik.....	613
17.2.3	Benchmark von ge- und entkoppelten Bremssystemen	613
17.2.4	Aufbau des Forschungsfahrzeugs PEGASYS ^{eP}	619
17.2.5	Probandenstudien	621
17.2.6	Vorgaben zur Auslegung künftiger Bremsanlagen	634
17.2.7	Konzeption für Pedalhaptiksimulatoren	635
17.2.8	Projektablauf und Projektherausforderungen	640
17.3	Elektromagnetisches Federbein	642
17.3.1	Übersicht.....	642
17.3.2	Motivation und Zielsetzung.....	643
17.3.3	Literaturrecherche	644
17.3.4	Aufbau MKS-Fahrzeugmodell	646
17.3.5	Aufbau elektromagnetisches Federbein	649
17.3.6	Konzeptgestaltung	650



17.3.7	Aufbau von Prüfständen zur Systemintegration.....	666
17.3.8	Zusammenfassung und Ausblick.....	668
17.3.9	Literatur und Referenzen.....	669
18	Wissensmanagement.....	669
18.1	Herausforderungen und Ziele.....	672
18.2	Konzepte und Lösungen.....	673
18.2.1	Analysierendes Verfahren: FLOW-Analyse der Arbeitspakete.....	673
18.2.2	Analysierendes Verfahren: Usabilityuntersuchungen am e performance-Wiki.....	675
18.2.3	Analysierendes Verfahren: Organisation und Suche von Projektartefakten.....	676
18.2.4	Workflow-integriertes Verfahren: Protokolltransformation.....	676
18.2.5	Workflow-erweiterndes Verfahren: Mobile Dokumentation des Fahrzeugaufbaus mit Hilfe einer App für das Apple iPad.....	678
18.2.6	Tools.....	679
18.3	Umsetzung der entwickelten Tools.....	690
18.4	Test und Inbetriebnahme.....	690
18.5	Handlungsbedarfe (nach Ende des Projektes).....	691
18.6	Lessons Learned.....	693
18.6.1	Einsatz von Wissensmanagementwerkzeugen (Wiki).....	693
18.6.2	Einsatz von Wissensmanagementwerkzeugen (Projektraum).....	694
18.6.3	Ontologien / SVNminer.....	694
18.7	Auswertung/Kommentare.....	697
18.7.1	Dynamische Änderungen an Funktionalität und Design der App.....	697
18.7.2	Protocolator und Post-IT.....	698
18.8	Literatur und Referenzen.....	698
19	Veröffentlichungen.....	699