

Inhaltsübersicht

Teil 1 Grundlagen

Kapitel 1	Grundlagen	3
Kapitel 2	Grundeinheiten und Bausteine	13
Kapitel 3	Mit oder ohne Noppen?	23
Kapitel 4	Achsen, Lagerbuchsen und Gelenke	37
Kapitel 5	Räder	47

Teil 2 Mechanik

Kapitel 6	Grundlagen von Zahnrädern und Getrieben	57
Kapitel 7	Ketten und Riemenscheiben	75
Kapitel 8	Hebel und Koppelgetriebe	85
Kapitel 9	Eigene mechanische Lösungen	95
Kapitel 10	Das Pneumatiksystem von LEGO	121
Kapitel 11	Pneumatische Geräte	135
Kapitel 12	Robuste Konstruktionen	159

Teil 3 Motoren

Kapitel 13	LEGO-Motoren – eine Bestandsaufnahme	187
Kapitel 14	Das LEGO Power-Functions-System	197
Kapitel 15	Das RC-System	215

Teil 4 Mechanik für Fortgeschrittene

Kapitel 16	Lenksysteme für Radfahrzeuge	223
Kapitel 17	Radaufhängungen	241
Kapitel 18	Kettenfahrzeuge und Aufhängungen	289
Kapitel 19	Getriebe	303
Kapitel 20	Addierer und Subtrahierer	337
Kapitel 21	Planetengeräte	353
Kapitel 22	3D-Druck	359

Teil 5 Modelle

Kapitel 23	Form und Funktion	369
Kapitel 24	Modelle richtig skalieren	381
Kapitel 25	Die Modellierung	389

Nachwort	399
Index	400

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	xvii
Danksagung	xviii
LEGO-Elemente kaufen – aber wo?	xix

TEIL 1 GRUNDLAGEN

1	
Grundlagen	3
Geschwindigkeit und Drehzahl	3
Drehmoment	3
Leistung	3
Reibung	4
Traktion	4
Rollwiderstand	4
Spiel	5
Wirkungsgrad	5
Begriffe aus der Fahrzeugtechnik	6
Antriebswelle	6
Antriebsstrang	6
Endantriebsstrang	6
Wendekreis	6
FWD, RWD, 4x4, 4WD und AWD	6
Lenkansschlag	7
Bodenabstand	7
Federweg	8
Sturzwinkel	8
Nachlaufwinkel	9
Spurwinkel	9
Gewichtsverteilung	10
Schwerpunkt	11
2	
Grundeinheiten und Bausteine	13
Der Technic-Stein	13
Stifte zum Verbinden und Drehen	14
Balken – die Alternative ohne Noppen	17
Die halbe Noppenlänge als Mindestbaumaß	19
Tricks zum Verbinden von Steinen	20

3

Mit oder ohne Noppen?	23
Die Entwicklung des LEGO-Systems	23
Konstruktion mit Noppenelementen	24
Noppenkonstruktionen sichern	25
Vorteile von Noppenkonstruktionen	26
Nachteile von Noppenkonstruktionen	26
Noppenlose Konstruktionen	26
Starre noppenlose Verbindungen	27
Vorteile von noppenlosen Konstruktionen	28
Nachteile von noppenlosen Konstruktionen	29
Die Baustile kombinieren	29
Anregungen durch Technic-Bausätze	30
Steine und Balken verbinden	33
Geradzahlige und ungeradzahlige Noppenlängen	34

4

Achsen, Lagerbuchsen und Gelenke	37
Achsen	37
Standardachsen	38
Modifizierte Achsen	39
Flexible Achsen	40
Lagerbuchsen	41
Halbe Lagerbuchsen	41
Reguläre Lagerbuchsen	43
Lagerbuchsen mit langem Stift	43
Kardangelenke	44

5

Räder	47
Woraus besteht ein Rad?	47
Reifen	48
Form	48
Massive und hohle Reifen	49
Material	50
Auf die Größe kommt es an	50
Räder für Fortgeschrittene	51
Mit Felgen- und Reifengrößen experimentieren	51
Wenn LEGO-Reifen nicht ausreichen	52

TEIL 2 MECHANIK

6

Grundlagen von Zahnrädern und Getrieben	57
Antriebsräder, angetriebene Räder und Laufräder	58
Übersetzungsverhältnis	59
Schnellreferenz für Übersetzungsverhältnisse	60
Wirkungsgrad von Zahnrädern	61
Zahnspiel	62
Die Drehrichtung bestimmen	62
Bestandsaufnahme der verfügbaren Zahnräder	62
Schnecke	64
3L-Schnecke	65
Zahnrad mit 8 Zähnen	65
Knebelrad	66
Einzelkegel mit 12 Zähnen	66
Doppelkegelrad mit 12 Zähnen	66
Zahnrad mit 14 Zähnen	66
Zahnrad mit 16 Zähnen	67
Zahnrad mit 16 Zähnen und Kupplung	67
Zahnrad mit 16 Zähnen und beidseitiger Kupplung	68
Einzelkegelrad mit 20 Zähnen	68
Einzelkegelrad mit 20 Zähnen und Stiftloch	68
Doppelkegelrad mit 20 Zähnen	68
Zahnrad mit 24 Zähnen	68
Zahnrad mit 24 Zähnen und Kupplung	69
Kronrad mit 24 Zähnen	69
Zahnrad mit 36 Zähnen	70
Zahnrad mit 40 Zähnen	70
Haifire Droid	70
Differenzialgetriebe	70
Drehscheiben	71
Veraltete Zahnräder	73

7

Ketten und Riemenscheiben	75
Ketten	75
Riemenscheiben	77
Flaschenzugsysteme	79
Einfache Flaschenzüge	80
Differenzialflaschenzüge	81
Potenzflaschenzug	83

8

Hebel und Koppelgetriebe	85
Hebel	85
Arten von Hebeln	86
Vom Hebel zum Koppelgetriebe	87
Koppelgetriebe	89
Tschebyscheff-Getriebe	91
Hoeken-Getriebe	91
Storchenschnabel	91
Peaucellier-Inversor	92
Sarrus-Getriebe	92
Scott-Russell-Getriebe	93
Nürnberger Schere	93
Watt-Getriebe	94

9

Eigene mechanische Lösungen	95
Ein robusteres Differenzial	95
Differenzialsperren	96
Ein selbst gebautes Differenzial	97
Achse mit Differenzialsperre	99
Ratschen	100
Lineare Kupplung	101
Exzentermechanismen	102
Scotch-Yoke-Kurbeltrieb	103
Scotch-Yoke-Kurbeltrieb	104
Oldham-Kupplung	105
Eine Oldham-Kupplung	105
Schmidt-Kupplung	106
Schrittmotoren	106
Malteserkreuzgetriebe	107
Malteserkreuzgetriebe	108
Rückfahrleuchten	108
Blinklichter	109
Wendesignale	110
Anspruchsvolle Fahrtrichtungsanzeiger	112
Doppelachsen-Drehscheibengetriebe	114
Doppelachsen-Drehscheibengetriebe	115
Ein robustes Kardangelenk	119
Kardangelenk	119

10

Das Pneumatiksystem von LEGO	121
Das alte System	121
Das neue System	122
Das V2-System	123

Bestandsaufnahme der Pneumatik-Bauteile	123
Pumpen	123
Steuermodule	125
Zylinder	126
Sonstige Teile	128
Das pneumatische System modifizieren	132
Nicht von LEGO stammende Schläuche	132
Nicht von LEGO stammende Lufttanks	132
Federn entfernen (Herstellen eines Motorkompressors)	133
Pneumatische Federung	133
Die Pneumatik in eine Hydraulik umwandeln	133

11

Pneumatische Geräte	135
Motorkompressoren	135
Schwenkkompressor	138
Motorventile	139
Automatische Ventile	140
Motorventil	141
Automatisches Ventil	142
Elektropneumatischer Schalter	143
Ventil mit PF-Servosteuerung	143
Elektropneumatischer Schalter	143
Ventil mit PF-Servosteuerung	144
Automatischer Druckschalter	145
Pneumatikmotoren	146
Ein-Zylinder-Motor	147
Zwei-Zylinder-Pneumatikmotor	150
Zwei-Zylinder-Motor mit Pleueln	153
Vorzeigeprojekte	157
Eine funktionierende Wasserdruckpumpe	157

12

Robuste Konstruktionen	159
Ursachen für das Auseinanderbrechen	159
Schwache Glieder finden	160
Zu verstärkende Stellen	160
Richtige Vorgehensweise zur Verstärkung	162
Weitere Regeln zur Verstärkung	164
Verstärkte Differenzialgehäuse	166
Vier verstärkte Differenzialgehäuse	167
Verstärkte Schneckengetriebegehäuse	171
Drei verstärkte Schneckengetriebegehäuse	172
Tragstrukturen	173
Binderiegel, Chassis und Fahrzeugrahmen	173
Fachwerk	176
Ein einfaches Dreiecksfachwerk	180
Die haltbarsten Teile auswählen	183

TEIL 3 MOTOREN

13

LEGO-Motoren – eine Bestandsaufnahme	187
2838 – Der erste 9-V-Motor	188
71427 – Ein beliebter und leistungsfähiger 9-V-Motor	189
43362 – Ein leichteres 9-V-Modell	189
47154 – Ein 9-V-Motor mit halb durchsichtigem Gehäuse	190
Mikromotor	190
MINDSTORMS NXT-Motor	191
MINDSTORMS EV3-Motor	191
Großer MINDSTORMS EV3-Motor	192
E-Motor von Power Functions	192
M-Motor (Medium) von Power Functions	193
L-Motor von Power Functions	193
XL-Motor von Power Functions	194
Servomotor von Power Functions	194
RC-Motor	195
Wasserdichter Motor (alt)	195
Wasserdichter Motor (neu)	196

14

Das LEGO Power-Functions-System	197
Manuelle Motorsteuerung	197
Fernsteuerung von Motoren	198
Stromquellen	200
AA-Batteriekasten	200
AAA-Batteriekasten	200
Akkumulator	201
Empfänger	201
Fernbedienungen	202
Die einfache Fernbedienung	203
Fernbedienung mit Drehzahlregler	203
Fernbedienungen umbauen	203
Reglerrad für eine einfache Fernbedienung	204
Seitliche Hebel für eine einfache Fernbedienung	205
Lenkrad für eine Fernbedienung mit Drehzahlregler	207
Linearaktoren	209
Großer Linearaktor	209
Kleiner Linearaktor	211
Linearaktoren und Pneumatikzylinder im Vergleich	211
Verlängerungskabel	212
Sonstige Elemente	213
Schalter	213
LED-Lampen	213

Das RC-System	215
Die Funkfernsteuerungssysteme von LEGO	215
Die Komponenten des eigentlichen RC-Systems	216
Die Steuereinheit	217
Die Fernsteuerung	217
Das Lenkelement	218
Motoren	218
Das Gesamtsystem	218
Das RC- und das PF-System im Vergleich	218

TEIL 4 MECHANIK FÜR FORTGESCHRITTENE

Lenksysteme für Radfahrzeuge	223
Einfache LEGO-Lenksysteme	223
Selbstzentrierende Lenkung	226
Ackermann-Lenkgeometrie	227
Einfacher Spurhebel mit Ackermann-Geometrie	230
Konvergenz von Achsen	231
VPP-Lenkung	234
Ein kleines VPP-Lenksystem	236
Ein großes VPP-Lenksystem	237

Radaufhängungen	241
Angetriebene Achsen	241
Aufhängungssysteme: Konzepte und Kategorien	242
Aufhängungsarten	243
Doppelquerlenker-Aufhängung	244
Tatra-Aufhängung	245
Pendelaufhängung	246
Längslenkeraufhängung (Schwebeachsenaufhängung)	247
Radnaben und ihre Verwendung	248
Radnabe vor 2011	249
Reguläre Radnabe	251
Lenkbare Radnabe	252
Portalradnabe	254
Angetriebene und aufgehängte Achsen	256
Pendelaufhängung mit Drehscheibe	256
Stabilisierte Pendelaufhängung	257
Portalachse (Vorgelegeachse)	260
Stabilisierte Pendelaufhängung mit Portalachse	261
Eine Tatra-Aufhängung, die mit vier Stoßdämpfern stabilisiert wird	264
Eine unabhängige Aufhängung	267
Eine Schwebeachse mit vier Verbindungen	268
Gelenkte und aufgehängte Achsen	272

Eine gelenkte Pendelachse	272
Eine unabhängig gelenkte Achse	273
Angetriebene, gelenkte und aufgehängte Achsen	274
Eine unabhängige Achse	274
Pendel-Portalachse in Schwerlastausführung	277
Pendelachse mit Schneckengetriebe	283

18

Kettenfahrzeuge und Aufhängungen	289
Gummiketten	289
Hartplastikketten	290
Kettenantriebssysteme	292
Aufhängungen	294
Rollenbock	294
Längslenkeraufhängung mit Stoßdämpfern	295
Längslenkeraufhängungen mit Torsionsstäben	296
Experimentieren mit Laufrädern	297
Selbst gebaute Schwerlast-Raupenkette	298
Selbst gebaute Schwerlast-Raupenkette	301

19

Getriebe	303
Getriebetypen	303
Antriebsringe bei LEGO-Getrieben	304
Getriebemodelle	307
2-Gang-Getriebe (synchronisiert)	307
Lineares 2-Gang-Getriebe für große Kräfte	308
2-Gang-Getriebe für RC-Motor	308
2-Gang-Orbitalgetriebe	309
2-Gang-Ratschengetriebe	309
3-Gang-Getriebe (linear)	310
4-Gang-Doppelachsengetriebe	310
4-Gang-Getriebe (synchronisiert)	311
Ferngesteuertes 4-Gang-Getriebe (sequenziell, synchronisiert)	312
5-Gang-Getriebe (linear)	312
10-Gang-Getriebe (synchronisiert)	313
Stufenloses Getriebe	314
Verteilergetriebe	314
2-Gang-Getriebe (synchronisiert)	315
Lineares 2-Gang-Getriebe für große Kräfte	316
2-Gang-Getriebe für RC-Motor	318
2-Gang-Orbitalgetriebe	320
2-Gang-Ratschengetriebe	321
3-Gang-Getriebe (linear)	322
4-Gang-Getriebe (synchronisiert)	324
Ferngesteuertes 4-Gang-Getriebe (sequenziell, synchronisiert)	325
10-Gang-Getriebe (synchronisiert)	330
Stufenloses Getriebe	335

20

Addierer und Subtrahierer	337
Festkopplung	337
Koppeln über Addierer	337
Drehmomente mit einem Addierer kombinieren	337
Mehr als zwei Motoren verwenden	340
Subtrahierer	340
Warum Subtrahierer?	341
Längssubtrahierer	342
Ein Längssubtrahierer	343
Quersubtrahierer	348
Ein Quersubtrahierer	349
Ein noppenloser Quersubtrahierer	351

21

Planetengetriebe	353
LEGO-Hohlräder	353
Planetengetriebe mit Drehscheibe	354
Planetengetriebe mit dem Rad 64712	355
Übersetzungsverhältnisse bei Planetengetrieben	357
Vorteile von Planetengetrieben	357

22

3D-Druck	359
Im Land der unbegrenzten Möglichkeiten	359
Vorhandene Konstruktionen abwandeln	360
Gegenstücke zu LEGO-Elementen	361
Adapter von Drittanbietern	362
Der Wirklichkeit nachempfundene Sonderformen	362
Die Nachteile des 3D-Drucks	363
Erste Schritte mit dem 3D-Druck	365
Selbst drucken	365
Drucken bei einem Anbieter	365

TEIL 5 MODELLE

23

Form und Funktion	369
Autos	369
Lkw	370
Motorräder	373
Kettenfahrzeuge	373
Luftfahrzeuge	376
Flugzeuge	376
Hubschrauber	376

24

Modelle richtig skalieren	381
Baupläne	381
Bezugspunkte	383
Skalierung	383

25

Die Modellierung	389
Die Größe	389
Räder	390
Andere runde Elemente	393
Farben	393
Der Teufel steckt im Detail	394
Beliebige Winkel bauen	395
Intelligent bauen	397
Der nächste Schritt: deine Modelle steuern	397

Nachwort	399
-----------------------	------------

Index	400
--------------------	------------