

# Inhaltsübersicht

<b>Teil 1</b>	<b>Grundlagen</b>	
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
<b>Teil 2</b>	<b>Mechanik</b>	
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
<b>Teil 3</b>	<b>Motoren</b>	
Kapitel 13	LEGO-Motoren – eine Bestandsaufnahme .....	187
Kapitel 14	Das LEGO Power-Functions-System .....	197
Kapitel 15	Das RC-System .....	215
<b>Teil 4</b>	<b>Mechanik für Fortgeschrittene</b>	
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	Planetengetriebe .....	353
Kapitel 22	3D-Druck .....	359
<b>Teil 5</b>	<b>Modelle</b>	
Kapitel 23	Form und Funktion .....	369
Kapitel 24	Modelle richtig skalieren .....	381
Kapitel 25	Die Modellierung .....	389
	Nachwort .....	399
	Index .....	400

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>xviii</b>
<b>LEGO-Elemente kaufen – aber wo?</b> .....	<b>xix</b>

## TEIL 1 GRUNDLAGEN

### 1

<b>Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
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
Lenkanschlag .....	7
Bodenabstand .....	7
Federweg .....	8
Sturzwinkel .....	8
Nachlaufwinkel .....	9
Spurwinkel .....	9
Gewichtsverteilung .....	10
Schwerpunkt .....	11

### 2

<b>Grundeinheiten und Bausteine</b> .....	<b>13</b>
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

<b>3</b>		
	<b>Mit oder ohne Noppen? .....</b>	<b>23</b>
	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
<b>4</b>		
	<b>Achsen, Lagerbuchsen und Gelenke .....</b>	<b>37</b>
	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
<b>5</b>		
	<b>Räder .....</b>	<b>47</b>
	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

<b>Grundlagen von Zahnrädern und Getrieben</b> .....	<b>57</b>
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
Hailfire Droid .....	70
Differenzialgetriebe .....	70
Drehscheiben .....	71
Veraltete Zahnräder .....	73

### 7

<b>Ketten und Riemscheiben</b> .....	<b>75</b>
Ketten .....	75
Riemscheiben .....	77
Flaschenzugsysteme .....	79
Einfache Flaschenzüge .....	80
Differenzialflaschenzüge .....	81
Potenzflaschenzug .....	83

<b>8</b>		
	<b>Hebel und Koppelgetriebe</b> .....	<b>85</b>
	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
	Nürnberg Schere .....	93
	Watt-Getriebe .....	94
<b>9</b>		
	<b>Eigene mechanische Lösungen</b> .....	<b>95</b>
	Ein robusteres Differenzial .....	95
	Differenzialsperren .....	96
	<b>Ein selbst gebautes Differenzial</b> .....	<b>97</b>
	<b>Achse mit Differenzialsperre</b> .....	<b>99</b>
	Ratschen .....	100
	Lineare Kupplung .....	101
	Exzentermechanismen .....	102
	Scotch-Yoke-Kurbeltrieb .....	103
	<b>Scotch-Yoke-Kurbeltrieb</b> .....	<b>104</b>
	Oldham-Kupplung .....	105
	<b>Eine Oldham-Kupplung</b> .....	<b>105</b>
	Schmidt-Kupplung .....	106
	Schrittmotoren .....	106
	Malteserkreuzgetriebe .....	107
	<b>Malteserkreuzgetriebe</b> .....	<b>108</b>
	Rückfahrleuchten .....	108
	Blinklichter .....	109
	Wendesignale .....	110
	<b>Anspruchsvolle Fahrtrichtungsanzeiger</b> .....	<b>112</b>
	Doppelachsen-Drehscheibengetriebe .....	114
	<b>Doppelachsen-Drehscheibengetriebe</b> .....	<b>115</b>
	Ein robustes Kardangelenck .....	119
	<b>Kardangelenck</b> .....	<b>119</b>
<b>10</b>		
	<b>Das Pneumatiksystem von LEGO</b> .....	<b>121</b>
	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

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

## 12

<b>Robuste Konstruktionen .....</b>	<b>159</b>
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
<b>Vier verstärkte Differenzialgehäuse .....</b>	<b>167</b>
Verstärkte Schneckengetriebegehäuse .....	171
<b>Drei verstärkte Schneckengetriebegehäuse .....</b>	<b>172</b>
Tragstrukturen .....	173
Binderiegel, Chassis und Fahrzeugrahmen .....	173
Fachwerk .....	176
<b>Ein einfaches Dreiecksfachwerk .....</b>	<b>180</b>
Die haltbarsten Teile auswählen .....	183

## TEIL 3 MOTOREN

### 13

<b>LEGO-Motoren – eine Bestandsaufnahme</b> .....	<b>187</b>
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

<b>Das LEGO Power-Functions-System</b> .....	<b>197</b>
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
<b>Reglerrad für eine einfache Fernbedienung</b> .....	<b>204</b>
<b>Seitliche Hebel für eine einfache Fernbedienung</b> .....	<b>205</b>
<b>Lenkrad für eine Fernbedienung mit Drehzahlregler</b> .....	<b>207</b>
Linearaktoren .....	209
Großer Linearaktor .....	209
Kleiner Linearaktor .....	211
Linearaktoren und Pneumatikzylinder im Vergleich .....	211
Verlängerungskabel .....	212
Sonstige Elemente .....	213
Schalter .....	213
LED-Lampen .....	213

<b>15</b>		
	<b>Das RC-System</b> .....	<b>215</b>
	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

<b>16</b>		
	<b>Lenksysteme für Radfahrzeuge</b> .....	<b>223</b>
	Einfache LEGO-Lenksysteme .....	223
	Selbstzentrierende Lenkung .....	226
	Ackermann-Lenkgeometrie .....	227
	<b>Einfacher Spurhebel mit Ackermann-Geometrie</b> .....	<b>230</b>
	Konvergenz von Achsen .....	231
	VPP-Lenkung .....	234
	<b>Ein kleines VPP-Lenksystem</b> .....	<b>236</b>
	<b>Ein großes VPP-Lenksystem</b> .....	<b>237</b>
<b>17</b>		
	<b>Radaufhängungen</b> .....	<b>241</b>
	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
	<b>Radnabe vor 2011</b> .....	<b>249</b>
	<b>Reguläre Radnabe</b> .....	<b>251</b>
	<b>Lenkbare Radnabe</b> .....	<b>252</b>
	<b>Portalradnabe</b> .....	<b>254</b>
	Angetriebene und aufgehängte Achsen .....	256
	Pendelaufhängung mit Drehscheibe .....	256
	<b>Stabilisierte Pendelaufhängung</b> .....	<b>257</b>
	Portalachse (Vorgelegeachse) .....	260
	<b>Stabilisierte Pendelaufhängung mit Portalachse</b> .....	<b>261</b>
	<b>Eine Tatra-Aufhängung, die mit vier Stoßdämpfern stabilisiert wird</b> .....	<b>264</b>
	<b>Eine unabhängige Aufhängung</b> .....	<b>267</b>
	<b>Eine Schwebeachse mit vier Verbindungen</b> .....	<b>268</b>
	Gelenkte und aufgehängte Achsen .....	272



<b>Eine gelenkte Pendelachse</b> .....	<b>272</b>
<b>Eine unabhängige gelenkte Achse</b> .....	<b>273</b>
Angetriebene, gelenkte und aufgehängte Achsen .....	274
<b>Eine unabhängige Achse</b> .....	<b>274</b>
<b>Pendel-Portalachse in Schwerlastausführung</b> .....	<b>277</b>
<b>Pendelachse mit Schneckengetriebe</b> .....	<b>283</b>
<b>18</b>	
<b>Kettenfahrzeuge und Aufhängungen</b> .....	<b>289</b>
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
<b>Selbst gebaute Schwerlast-Raupenkette</b> .....	<b>301</b>
<b>19</b>	
<b>Getriebe</b> .....	<b>303</b>
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-Doppelachsgetriebe .....	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
<b>2-Gang-Getriebe (synchronisiert)</b> .....	<b>315</b>
<b>Lineares 2-Gang-Getriebe für große Kräfte</b> .....	<b>316</b>
<b>2-Gang-Getriebe für RC-Motor</b> .....	<b>318</b>
<b>2-Gang-Orbitalgetriebe</b> .....	<b>320</b>
<b>2-Gang-Ratschengetriebe</b> .....	<b>321</b>
<b>3-Gang-Getriebe (linear)</b> .....	<b>322</b>
<b>4-Gang-Getriebe (synchronisiert)</b> .....	<b>324</b>
<b>Ferngesteuertes 4-Gang-Getriebe (sequenziell, synchronisiert)</b> .....	<b>325</b>
<b>10-Gang-Getriebe (synchronisiert)</b> .....	<b>330</b>
<b>Stufenloses Getriebe</b> .....	<b>335</b>

<b>20</b>	
<b>Addierer und Subtrahierer</b>	<b>337</b>
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
<b>Ein Längssubtrahierer</b>	<b>343</b>
Quersubtrahierer	348
<b>Ein Quersubtrahierer</b>	<b>349</b>
<b>Ein noppenloser Quersubtrahierer</b>	<b>351</b>
<b>21</b>	
<b>Planetengetriebe</b>	<b>353</b>
LEGO-Hohlräder	353
<b>Planetengetriebe mit Drehscheibe</b>	<b>354</b>
<b>Planetengetriebe mit dem Rad 64712</b>	<b>355</b>
Übersetzungsverhältnisse bei Planetengetrieben	357
Vorteile von Planetengetrieben	357
<b>22</b>	
<b>3D-Druck</b>	<b>359</b>
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

<b>23</b>	
<b>Form und Funktion</b>	<b>369</b>
Autos	369
Lkw	370
Motorräder	373
Kettenfahrzeuge	373
Luftfahrzeuge	376
Flugzeuge	376
Hubschrauber	376

<b>24</b>	
<b>Modelle richtig skalieren</b> .....	<b>381</b>
Baupläne .....	381
Bezugspunkte .....	383
Skalierung .....	383
<b>25</b>	
<b>Die Modellierung</b> .....	<b>389</b>
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
<b>Nachwort</b> .....	<b>399</b>
<b>Index</b> .....	<b>400</b>