



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Kraftfahrzeugtechnik

# Fachkunde Fahrradtechnik

**8. Auflage**

Bearbeitet von Gewerbelehrern, Ingenieuren, Sachverständigen und  
Zweiradmechanikermeistern

**Lektorat: Jens Leiner, Bremen**

Verlag Europa-Lehrmittel · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 22917**

---

**Autoren der Fachkunde Fahrradtechnik**

---

Brust, Ernst	Schweinfurt
Gressmann, Michael	Borken (He)
Herkendell, Franz	Bonn
Leiner, Jens	Bremen
Lessing, Hans-Erhard	Koblenz
Muschweck, Oliver	Feucht

---

**Leitung des Arbeitskreises und Lektorat**

---

Jens Leiner

---

**Bildbearbeitung**

---

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern  
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Der Verlag und die Autoren bedanken sich bei Herrn Dipl.-Ing. Robert Bastian, Herrn Martin Hillmeier, Herrn Dipl.-Ing. Thomas Mertin und Herrn Dipl.-Ing. Dirk Zedler für hilfreiche Anregungen und Korrekturen. Für die 8. Auflage geht der Dank zusätzlich an die Herren Gregor Arndt, Arif Dylgjeri, Jens Herrmann, Jakob Mühldorfer, Francesco Musso, Andreas Oehler, Markus Schmid und Frank Warnecke.

Folgende Institutionen halfen mit Informationen bei der Erstellung des Buches:

- AVK Industrievereinigung verstärkte Kunststoffe e. V., Frankfurt a. M.
- Freudenberg Simrit GmbH & Co. KG, Weinheim
- Gesellschaft Tribologie e. V., Aachen
- Klüber Lubrication KG, München
- schaeffler technologies GmbH & Co KG, Herzogenaurach
- Toho Tenax Europe GmbH, Neustadt/Weinstraße

8. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-2226-0

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar  
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Umschlagfotos: SON Nabendynamo, Wilfried Schmidt Maschinenbau, Tübingen,  
SUPERNOVA DESIGN GmbH, Gundelfingen und Specialized Germany GmbH, Holzkirchen-Föching  
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

---

## Vorwort zur 8. Auflage

---

Die „Fachkunde Fahrradtechnik“, vermittelt die wesentlichen Fachkenntnisse, die für die betriebliche Ausbildung der Zweiradberufe notwendig sind. Daneben dient das „Tabellenbuch Fahrradtechnik“ aus dem gleichen Verlag als Nachschlagewerk von Daten und Fakten rund um alle Fahrrad-Sachgebiete. Zur Vertiefung von Kenntnissen von motorisierten Zweirädern wird auf die Bücher „Fachwissen E-Bike“ und „Fachkunde Motorradtechnik“ verwiesen.

Das vorliegende Fachbuch begleitet die Auszubildenden während ihrer Ausbildung. Es ist aber auch für den zukünftigen Meister und Servicetechniker ein wichtiger Begleiter in Theorie und Praxis und sollte als Nachschlagewerk in keiner Werkstattbibliothek des Zweiradhandwerks fehlen. Ebenso wird der interessierte Laie in dem Buch eine Menge von Hilfen und Anregungen für sein Hobby finden.

Für die **neue Auflage** erfuhren drei Kapitel eine Überarbeitung. Diese Überarbeitung war notwendig, um dem aktuellen Stand des Wissens gerecht zu werden und um überholte Lehrmeinungen innerhalb der Fahrradbranche zu korrigieren:

Das **Kapitel 1 „Technische Grundlagen“** ist vollständig neu gestaltet. Es ist in seiner Struktur an der Systematik des Maschinenbaus orientiert. Dazu wurden die Darstellung der Fertigungs-, Werkstoff- und Maschinenteknik in vielen Bereichen ergänzt und neu geordnet. Auch wurden Themen der Fertigungstechnik (Umformverfahren wie Walzen und Ziehen, Fügeverfahren wie Schweißen, Löten und Kleben) und Werkstofftechnik (Carbonfaserverstärkte Kunststoffe) aus dem Kapitel „Fahrwerk“ aufgenommen.

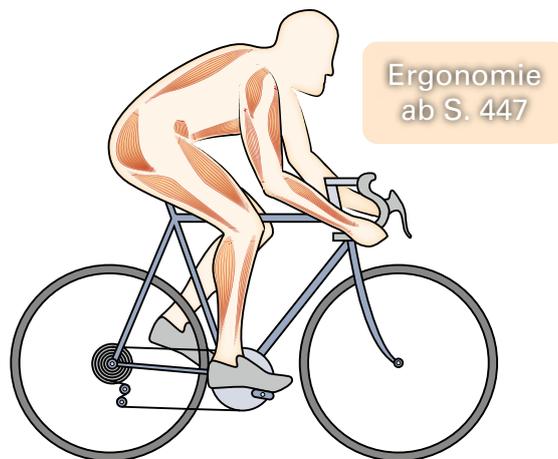
Das **Kapitel 4 „Fahrwerk“** ist von den oben genannten Inhalten entlastet. Dafür ist die Fahrwerksgeometrie detaillierter dargestellt. Die Abschnitte Lenksystem und Sitzsystem sind ebenfalls vollständig neu erstellt und erweitert.

Der Umfang des **Kapitels 8 „Beleuchtungsanlage“** vergrößerte sich durch die vollständige Überarbeitung von 17 auf 29 Seiten. Es beginnt ab dieser Auflage mit einer ausführlichen Erläuterung der Vermessung der Lichts, der Fotometrie, um das Verständnis für dessen Maßeinheiten zu verbessern.

Wenn im vorliegenden Fachbuch die Rede von Radfahrer, Benutzer, Techniker und Auszubildender ist, ist auch immer die weibliche Form gemeint.

Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de). Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gern auf.

## Quick-Finder



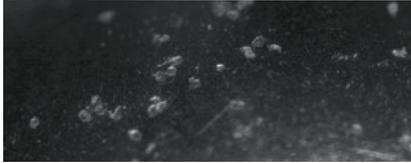
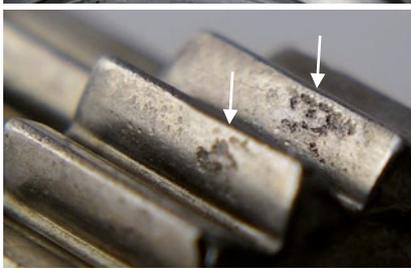
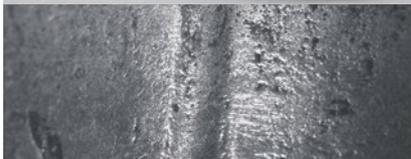
<b>1</b>	<b>Technische Grundlagen</b>	9	1.6.4	Verschleiß	121
1.1	Größen und Einheiten	9	1.6.5	Tribochemische Reaktionen	124
1.2	Messtechnik	11	1.7	Korrosion	129
1.2.1	Grundbegriffe, Definitionen	11	1.8	Elektrotechnik	132
1.2.2	Prüfmittel	12	1.8.1	Elektrische Spannung	132
1.2.3	Messabweichungen	17	1.8.2	Elektrischer Strom	132
1.3	Fertigungstechnik	18	1.8.3	Elektrischer Widerstand	134
1.3.1	Urformen	18	1.8.4	Elektrische Leistung	134
1.3.2	Umformen	19	1.8.5	Elektrische Arbeit	135
1.3.3	Trennen	24	1.8.6	Messen elektrischer Größen	135
1.3.4	Fügen	36	1.8.7	Elektrische Schaltungen	136
1.3.4.1	Kraftschlüssiges Fügen	36	1.8.8	Elektrische Bauelemente	137
1.3.4.2	Formschlüssiges Fügen	39	1.9	Steuerungs- und Regelungstechnik	141
1.3.4.3	Stoffschlüssiges Fügen	41	1.9.1	Steuerung	141
1.3.5	Beschichten	51	1.9.2	Regelung	142
1.3.6	Ändern der Stoffeigenschaft	54	1.9.3	EVA-Prinzip	142
1.4	Werkstofftechnik	58	1.9.4	Vergleich von Steuerung und Regelung	143
1.4.1	Werkstoffeigenschaften	58	<b>2</b>	<b>Geschichte des Fahrrades</b>	144
1.4.2	Festigkeitsberechnung	61	<b>3</b>	<b>Fahrradbauarten</b>	147
1.4.3	Einteilung der Werkstoffe	67	3.1	Alltagsfahrräder	147
1.4.4	Stahl	67	3.2	Sportfahrräder	151
1.4.5	Aluminium	68	3.3	Sessel- und Liegefahrräder	158
1.4.6	Titan	69	3.4	Lastenfahrräder	162
1.4.7	Magnesium	72	3.5	Kinderfahrräder	163
1.4.8	Kupfer, Messing, Bronze	73	3.6	Mehrpersonenfahrräder	164
1.4.9	Kunststoffe	73	3.7	Show-Bikes	166
1.4.9.1	Thermoplaste	74	3.8	Weitere Bauarten	167
1.4.9.2	Duroplaste	76	3.8.1	Minivelo	167
1.4.9.3	Elastomere	77	3.8.2	Tallbike	167
1.4.9.4	Verbundwerkstoffe	78	3.8.3	Dreirad, Handtrike	168
1.4.9.5	Herstellen von CFK-Bauteilen	82	3.8.4	Knicklenker	169
1.4.9.6	CFK-Schäden und -prüfverfahren	86	3.8.5	Roller	169
1.4.10	Natürliche Werkstoffe	96	3.8.6	Tretroller, Wipptroller	170
1.5	Maschinentechnik	98	3.8.7	Laufmaschinen	171
1.5.1	Gewinde, Schrauben	99	3.8.8	Schienenfahrräder	171
1.5.2	Niete, Bolzen, Stifte	104	<b>4</b>	<b>Fahrwerk</b>	172
1.5.3	Muffen	105	4.1	Kräfte und Momente am Fahrradrahmen	172
1.5.4	Achsen, Wellen, Gelenkbolzen	106	4.1.1	Kräfte in der Rahmenebene	172
1.5.5	Lager	107	4.1.2	Laterale Kräfte	174
1.5.6	Dichtungen	108	4.1.3	Biegemomente	174
1.5.7	Seile, Seilzüge	110	4.2	Rahmenbauarten	175
1.5.8	Ketten, Riemen, Zahnräder	111	4.3	Rahmengenometrie	178
1.5.9	Getriebe	113	4.3.1	Rahmenhöhe und -länge	179
1.5.10	Kupplungen	114	4.3.2	Sitzhöhe, Sattelhöhe, Sattellängs- position und Sattelrohrwinkel	181
1.5.11	Gesperre	116	4.3.3	Radstand, Systemschwerpunkt und Fußfreiheit	182
1.5.12	Schaltwerk, Verstelleinrichtung	116			
1.6	Tribologie und Verschleiß	117			
1.6.1	Tribologisches System	117			
1.6.2	Reibung	118			
1.6.3	Oberflächen metallischer Bauteile	121			

4.3.4	Kurbellagerhöhe und Bodenfreiheit	184	5.5.6	Nabenklemmung	278
4.3.5	Lenkachswinkel, Gabelversatz, Nachlauf	185	<b>5.6</b>	Felgen	280
4.3.6	Bauelemente an Rahmen und Gabel	189	5.6.1	Reifenaufnahme	280
<b>4.4</b>	ISO-Rahmentest	192	5.6.2	Felgenprofile	281
<b>4.5</b>	Werkstattkontrolle von Rahmen und Gabeln	193	5.6.3	Werkstoffe und Herstellung von Felgen	284
<b>4.6</b>	Lenksystem	196	5.6.4	Felgenbohrungen	284
4.6.1	Gabel	196	5.6.5	Felge als Brems Scheibe	285
4.6.2	Lenkungslager	199	<b>5.7</b>	Vorgespannte Speichen	286
4.6.3	Vorbau	205	5.7.1	Material, Herstellung	286
4.6.4	Lenker	208	5.7.2	Speichenbauarten	287
<b>4.7</b>	Sitzsystem	215	5.7.3	Speichennippel	289
4.7.1	Sattel	215	5.7.4	Speichenbelastung	290
4.7.2	Sattelstütze	218	5.7.5	Einspeicharten	292
4.7.3	Federung im Sitzsystem	223	5.7.6	Speichenlänge	296
4.7.4	Sessel und Liegen	226	5.7.7	Einspeichverfahren	297
<b>4.8</b>	Federung und Dämpfung	227	5.7.8	Spannen und Zentrieren	299
4.8.1	Aufgaben der Federung	227	5.7.9	Korrosion an Speichen und Nippel	302
4.8.2	Das ungefederte Fahrrad	227	5.7.10	Speichen binden und verlöten	302
<b>4.8.3</b>	Elemente der Federung und Dämpfung	229	5.7.11	Fachgerechter Radbau	303
4.8.4	Federung	230	5.7.12	Systemräder	303
4.8.5	Dämpfung	234	<b>5.8</b>	Reifen	304
4.8.6	Feder-Dämpfertechnologie	238	5.8.1	Reifenaufbau	304
4.8.7	Ausführungen von Federungen	245	5.8.2	Vulkanisieren	306
4.8.8	Physik der Fahrradfederung	252	5.8.3	Bauarten von Reifen	306
<b>5</b>	<b>Räder</b>	259	5.8.4	Kraftübertragung des Reifens	310
<b>5.1</b>	Scheibenrad	259	5.8.5	Reifenschlauch	313
<b>5.2</b>	Ungespanntes Speichenrad (Druckspeichenrad)	260	5.8.6	Felgenband	314
<b>5.3</b>	Vorgespanntes Speichenrad (Zugspeichenrad)	261	5.8.7	Schlauch- und Reifenreparatur	314
5.3.1	Kräfte am vorgespannten Rad	261	5.8.8	Fahradventile	315
5.3.2	Radiale Kräfte	261	5.8.9	Größenbezeichnungen von Reifen	317
5.3.3	Tordierende Kräfte	263	5.8.10	Reifendruck und Karkassenspannung	319
5.3.4	Laterale Kräfte	264	5.8.11	Rolleigenschaften von Reifen	321
5.3.5	Zusammenfassung der Kräfte	265	<b>6</b>	<b>Antrieb</b>	324
5.3.6	Steifigkeit eines Rades	266	<b>6.1</b>	Pedalbewegungen	324
<b>5.4</b>	Vorschriften und Prüfverfahren (EN ISO 4210)	267	<b>6.2</b>	Kurbelsatz	324
<b>5.5</b>	Naben	268	6.2.1	Verbindung Kurbel-Kurbelwelle	324
5.5.1	Naben ohne Zusatzeinrichtungen	268	6.2.2	Kurbellager (Innenlager)	326
5.5.2	Antriebsnaben	268	6.2.3	Kurbeln und Kettenräder	328
5.5.2.1	Ritzel	268	6.2.4	Kurbellänge	330
5.5.2.2	Freilaufkupplungen	270	6.2.5	Trittweite	330
5.5.2.3	Antriebsvarianten	273	6.2.6	Kettenlinie	331
5.5.3	Nabenflansch	274	<b>6.3</b>	Pedale	332
5.5.4	Nabenlagerung	276	6.3.1	Pedalgewinde	332
5.5.5	Nabenabdichtung	278	6.3.2	Pedalprüfung	333
			6.3.3	Pedallagerung	334
			6.3.4	Pedalausführungen	334
			<b>6.4</b>	Antriebskette	337
			6.4.1	Aufbau einer Antriebskette	337
			6.4.2	Kettenreibung und Kettenverschleiß	338

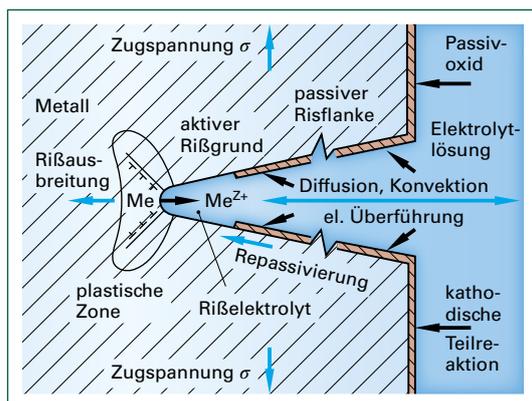
6.4.3	Kettenfügen	339	<b>9.3</b>	Kindersitze	435
6.4.4	Kettenlänge bei Kettenschaltungen	340	<b>9.4</b>	Fahrradständer	436
<b>6.5</b>	Zahnriemen	342	<b>9.5</b>	Glocke	437
<b>6.6</b>	Fahrradschaltungen	344	<b>9.6</b>	Luftpumpe	438
6.6.1	Nabenschaltungen	344	<b>9.7</b>	Fahrradschlösser	439
6.6.2	Kettenschaltungen	362	<b>9.8</b>	Anhänger	440
6.6.3	Schalthebel	367	<b>9.9</b>	Fahrradcomputer	441
6.6.4	Weitere Schaltsysteme	370	<b>9.10</b>	Elektrische Spannungsversorgung für Mobilgeräte	443
<b>7</b>	<b>Bremsen</b>	375	<b>9.11</b>	GPS-Navigation	443
<b>7.1</b>	Vorschriften	375	<b>9.12</b>	Helm	445
7.1.1	Gesetzliche Vorschriften	375	<b>9.13</b>	Sicherheitszelle	446
7.1.2	Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen	375	<b>10</b>	<b>Ergonomie und Anpassung</b>	447
7.1.3	Kraftübertragung und Übersetzungsverhältnis	377	<b>10.1</b>	Anpassungsbereich	447
<b>7.2</b>	Bauarten von Bremsen	379	<b>10.2</b>	Anpassungsmethoden	448
7.2.1	Felgenbremsen	379	<b>10.3</b>	Messmethoden	450
7.2.2	Nabenbremsen	390	<b>10.4</b>	Sitzpositionen	451
<b>8</b>	<b>Beleuchtungsanlage</b>	403	10.4.1	Fachbegriffe, Definitionen und Kennlinien	451
<b>8.1</b>	Gesetzliche Grundlagen	403	10.4.2	Sitzhöhe	452
<b>8.2</b>	Fotometrie	406	10.4.3	Oberkörperhaltungen	454
8.2.1	Elektromagnetische Wellen und Licht	406	<b>10.5</b>	Kontaktpunkte am Fahrrad	457
8.2.2	Strahlungsleistung und Lichtstrom	407	10.5.1	Kontaktpunkt Pedal	457
8.2.3	Lichtstärke	407	10.5.2	Kontaktpunkt Sattel	459
8.2.4	Beleuchtungsstärke	408	10.5.3	Kontaktpunkt Lenker	460
8.2.5	Leuchtdichte	408	<b>10.6</b>	Auswahl der Rahmenhöhe	462
8.2.6	Farbtemperatur	409	<b>10.7</b>	Probefahrt im Fachhandel	463
8.2.7	Farbwiedergabe	409	<b>10.8</b>	Beinmuskeln als Motor	463
<b>8.3</b>	Bereitstellung elektrischer Energie	410	<b>11</b>	<b>Fahrmechanik</b>	466
8.3.1	Spannungserzeugung durch Induktion	410	<b>11.1</b>	Masse, Trägheit und Gewicht	466
8.3.2	Generator – innerer Aufbau	411	<b>11.2</b>	Kraft und Gegenkraft	468
8.3.3	Antriebe von Generatoren	415	<b>11.3</b>	Reibungskräfte	468
8.3.4	Ladeadapter	419	11.3.1	Haftreibung	469
<b>8.4</b>	Lichtquellen	420	11.3.2	Gleitreibung	469
8.4.1	Glühlampen	420	11.3.3	Rollreibung	470
8.4.2	Leuchtdioden	421	<b>11.4</b>	Schlupf	470
<b>8.5</b>	Beleuchtung	423	<b>11.5</b>	Gleichgewicht	471
8.5.1	Frontleuchte (Scheinwerfer)	423	11.5.1	Labiles Gleichgewicht	471
8.5.2	Heckleuchte (Schlussleuchte)	426	11.5.2	Dynamisches Gleichgewicht	471
8.5.3	Standlicht	426	<b>11.6</b>	Kurvenfahrt	471
8.5.4	Batteriebeleuchtung	427	<b>11.7</b>	Kreiselkräfte	473
8.5.5	Generatorleuchte	427	<b>11.8</b>	Lenksystem	475
8.5.6	Rückstrahler	428	<b>11.9</b>	Bremsen	478
8.5.7	Elektrische Leitungen	428	11.9.1	Grundlagen Bremsen	478
<b>8.6</b>	Fehlersuche in der Beleuchtungsanlage	430	11.9.2	Überschlagsgefahr	479
			11.9.3	Bremsen in der Kurve	480
<b>9</b>	<b>Zubehör</b>	432	<b>12</b>	<b>Oberflächenschutz</b>	481
<b>9.1</b>	Schutzblech und Kettenschutz	432	<b>12.1</b>	Lacke	481
<b>9.2</b>	Gepäckträger	433	<b>12.2</b>	Beschichtungsverfahren	481

12.2.1 Nasslackierung _____	481	16.6.2 Bauvorschriften Fahrrad _____	521
12.2.2 Pulverlackierung _____	482	16.6.3 Typprüfung Fahrrad _____	521
<b>12.2.3</b> Kombinationen von Lackierungen ____	483	<b>16.7</b> Sicherheitstechnische	
12.2.4 Elektrotauchlackierung _____	484	Untersuchungen _____	521
<b>12.3</b> Eloxieren _____	484	16.7.1 Betriebslasten _____	521
<b>13</b> <b>Schmierung, Reinigung und Pflege</b> _____	485	16.7.2 Betriebslastenermittlungen _____	522
<b>13.1</b> Schmierung _____	485	<b>16.7.3</b> Messfahrten und Labormessungen ____	523
<b>13.1.1</b> Aufgaben und Arten von		16.7.4 Prüfgrundlagen _____	523
Schmierstoffen _____	485	16.7.5 Testverfahren, Testeinrichtungen ____	523
13.1.2 Schmierstoffe in der		<b>16.8</b> Schadensbegutachtung _____	526
Fahrradstandhaltung _____	487	16.8.1 Sach- und Körperschäden _____	526
13.1.3 Prüfverfahren für Schmierstoffe ____	490	16.8.2 Produkt- und Instruktionsfehler ____	527
13.1.4 Alterung, Neuschmierung und		16.8.3 Gerichts- und Privatgutachten ____	527
Entfettung _____	490	<b>16.9</b> Risiken _____	527
13.1.5 Tribologische Sonderfälle in der		<b>16.10</b> Produktsicherheit Elektrofahrrad ____	528
Fahrradtechnik _____	491		
<b>13.2</b> Pflege und Reinigung von		<b>17</b> <b>Fachrechnen und physikalisch-</b>	
Fahrradbauteilen _____	495	<b>    technologischer Grundlagen</b> _____	529
<b>13.3</b> Abfallentsorgung _____	502	<b>17.1</b> Längen _____	529
<b>13.3.1</b> Gesetzliche Grundlagen _____	502	<b>17.2</b> Drehzahl _____	529
13.3.2 Beseitigung von Abfällen in		<b>17.3</b> Geschwindigkeit _____	529
Fahrradgeschäften _____	502	<b>17.4</b> Beschleunigung und Verzögerung ____	531
<b>14</b> <b>Instandhaltung, Werkzeuge</b> _____	504	<b>17.5</b> Anhalteweg und Bremsweg _____	531
<b>15</b> <b>Arbeitssicherheit</b> _____	512	<b>17.6</b> Masse und Dichte _____	531
<b>15.1</b> Gesetzliche Grundlagen _____	512	<b>17.7</b> Trägheit und Trägheitsmoment ____	532
<b>15.2</b> Sicherheitszeichen _____	512	<b>17.8</b> Flächenmoment und	
<b>15.3</b> Gefahrstoffe _____	513	Widerstandsmoment _____	532
<b>15.4</b> Persönliche Schutzausrüstung ____	514	<b>17.9</b> Kraft _____	532
<b>15.5</b> Unfallverhütung _____	515	<b>17.10</b> Antriebsschlupf und Bremsschlupf _	537
<b>16</b> <b>Produktsicherheit</b> _____	516	<b>17.11</b> Mechanische Arbeit _____	537
<b>16.1</b> Benutzerinformationen für		<b>17.12</b> Energie _____	538
Gebrauchsgüter _____	516	<b>17.13</b> Leistung _____	538
16.1.1 Informationspflicht _____	516	<b>17.14</b> Wirkungsgrad _____	540
16.1.2 Informationsinhalte _____	516	<b>17.15</b> Drehmoment _____	541
16.1.3 Informationsfehler _____	516	<b>17.16</b> Hebel und Bremsen _____	541
<b>16.2</b> Gewährleistung _____	517	<b>17.17</b> Kreiselmoment und Kreiselkraft ____	551
16.2.1 Sachmangel _____	517	<b>17.18</b> Getriebe _____	551
16.2.2 Beweislastumkehr _____	517	<b>17.19</b> Kurvenfahrt _____	557
<b>16.3</b> Haftung _____	517	<b>17.20</b> Federung _____	558
16.3.1 Haftungsansprüche _____	517	<b>17.21</b> Festigkeit _____	567
16.3.2 Zivilrechtliche Produzentenhaftung__	518	<b>17.22</b> Elektrotechnik _____	569
<b>16.4</b> Garantie und Kulanz _____	518	<b>17.23</b> Projekt Elektrofahrrad _____	571
<b>16.5</b> Normen _____	519		
16.5.1 Das DIN _____	519	<b>18</b> <b>Terminologie</b> _____	574
16.5.2 Normungsarbeit _____	519	<b>19</b> <b>Sponsoren</b> _____	577
16.5.3 Sicherheitsnormen Fahrrad _____	519	<b>Bildquellenverzeichnis</b> _____	586
<b>16.6</b> Gesetzliche Vorschriften Fahrrad ____	520	<b>Sachwortverzeichnis</b> _____	590
16.6.1 Die StVZO _____	520		

Tabelle 1: Verschleiß durch Oberflächenzerrüttung

	<p>Grundkörper: <b>geschliffener Nabenlagerkonus</b> Gegenkörper: <b>Wälzkörper (Kugel)</b></p> <p>Beginnende Grübchenbildung mit Ausbrechen von Verschleißpartikeln aus der Oberfläche des Grundkörpers. Abhilfe: Austausch aller betroffenen Bauteile. Bei Wiederverwendung des Nabenkörpers gründlichste Reinigung notwendig.</p>
	<p>Detailvergrößerung der Gegenkörper-Oberfläche: Lagerkugel zerstört durch Überrollung der im Schmierfett gebundenen harten Verschleißpartikel.</p>
	<p>Grundkörper: <b>geschliffener Nabenlagerkonus</b> Gegenkörper: <b>Wälzkörper (Kugel)</b></p> <p>Grundkörper durch Grübchenbildung zerstört. Phase 4 der Oberflächenzerrüttung mit Ausbrechen und Abtrennen von Verschleißpartikeln aus der Oberfläche.</p>
	<p>Grundkörper: <b>Kurbellagerschale (Konuslager)</b> Gegenkörper: <b>Wälzkörper (Kugel)</b></p> <p>Außenringbruch durch Oberflächenzerrüttung (seltenes Schadensbild; sehr hohe Fahrleistung)</p>
	<p>Grundkörper: <b>Planetenrad</b> Gegenkörper: <b>Sonnenrad</b></p> <p>Beginnende Grübchenbildung und erste Abtrennung von Partikeln aus der Oberfläche der Zahnflanken (hohe Fahrleistung, normaler Verschleiß). Kann durch Überrollung von Verschleißpartikeln gefördert worden sein. Abhilfe: Sorgfältige Reinigung mit Entfettung, Austausch von Grund- und Gegenkörper, Neuschmierung</p>
	<p>Grundkörper: <b>Lenkungslagerschale</b> Gegenkörper: <b>Wälzkörper (Nadel)</b></p> <p>Oberflächenermüdung, Prallverschleiß (false brinelling) Tiefe Wälzkörpereindrücke als Folge von oszillierender Stoßbeanspruchung, statische Überlastung und zu großes Lagerpiel über einen längeren Zeitraum.</p>
	<p>Detailvergrößerung des Grundkörpers: Korrosionsschäden mit Rostnarben durch eingedrungenes Wasser (dunkle Flecken im Bild).</p>

Dabei wirkt sich der höhere Nickelanteil von 10 % bei 18/10-Stahl vorteilhaft gegenüber nur 8 % der Sorte 18/8 aus. Bereits geringe Mengen Salzwassers, die an der Unterkreuzung zweier Speichen haften, führen mit der Zeit zu Rissen. Die Speichen brechen dann an der Kreuzung, obwohl dies eigentlich kein rissgefährdeter Bereich ist (**Bild 1**).



**Bild 1: Spannungsrisskorrosion**

Die **Filiformkorrosion** tritt auf, wenn chloridhaltige Bestandteile (Salze wie NaCl oder KCl) auf beschichtete Aluminium- oder Stahloberflächen einwirken. Sie zeigt einen typischen fadenartigen Verlauf in der Metalloberfläche unterhalb der Beschichtung (**Bild 2**). Bei der fadenförmigen Entwicklung des Materialangriffs ist der Fadenkopf die aktive Anode, während im zurückliegenden Bereich kathodische Reaktionen ablaufen. Damit entsteht zwischen Fadenkopf und Faden eine Potentialdifferenz, welche für das Weiterwachsen der Fäden verantwortlich ist.



**Bild 2: Filiformkorrosion**

Wesentlich für diese Korrosionsform ist das Zusammentreffen von drei Faktoren:

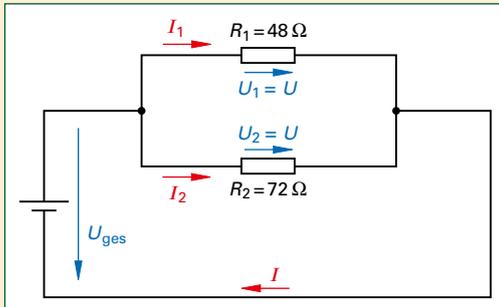
- Eine hohe Luftfeuchte, typischerweise deutlich oberhalb von 65 % rH.
- Eine Chloridbelastung, z. B. durch Tausalze, Körperschweiß, oder Sportgetränke.

- Das Vorhandensein von Störstellen in der Beschichtung: z. B. Kratzer, Mikrorisse, nicht entgratete Kanten oder eine fehlende Lackschicht an Schnittkanten oder Bohrungen.

Zu einer **Tribochemischen Reaktion/Korrosion** kommt es, wenn Mikrobewegungen zwischen zwei Bauteilen permanent eine schützende Oxidschicht zerstören. In Gegenwart eines Elektrolyten ereignen sich an einem Ort ständig neue Korrosionsvorfälle. Dies führt zu dem sog. **Passungsrost** und ggf. zu einer Volumenzunahme. Beispielsweise die Kontaktstelle von Sattelstützen und Sattelrohren ist davon betroffen, weil die harten Eisenoxidpartikel als Schleifkörper wirken.

Zum **Korrosionsschutz** bieten sich verschiedene Maßnahmen an:

- Die **Auswahl geeigneter Werkstoffe**, die in der Betriebsumgebung korrosionsfest sind. Dies wäre ein edles Metall wie Titan oder faserverstärkter Kunststoff.
- Die **Passivierung** von Werkstoffen. Auf der Oberfläche von reinem Aluminium bildet sich an der Luft eine Oxidschicht von 0,05 µm Dicke, die das Metall vor weiteren Korrosionseinflüssen schützt. Diese kann durch das Eloxieren auf 5 µm bis 25 µm verstärkt werden. Ebenso bildet Chrom eine sehr dünne, unsichtbare Oxidschicht aus (Stärke ca. 5 bis 50 Atomlagen). Sie trennt das Metall von der Atmosphäre, sodass eine weitere Oxidation des Werkstoffs gestoppt wird. Beim Legieren von Stahl führt der Zusatz von 12 % Chrom dazu, dass die Passivierbarkeit von Chrom auf den Stahl übertragen wird.
- **Korrosionsschutzgerechte Konstruktion**. Die Bildung von Kontaktelementen vermeiden, indem Werkstoffe mit ähnlichen elektrischen Potentialen verwendet werden oder anderenfalls die Isolierung von Werkstücken gegeneinander. Ebenso die Vermeidung von Spalten und Hohlräumen.
- **Korrosionsschutzgerechte Montage**. Vermeiden von Beschädigungen der Passivschicht z. B. bei Sattelstützen aus Aluminium durch Ausreiben des Sattelrohrs vor der Montage und der Verwendung von Schmierfett bei der Montage.
- **Beschichtung gefährdeter Bereiche**. Z. B. das Lackieren von Stahlrahmen oder das Einsprühen von Speichenköpfen, -bögen und -nippel mit Sprühwachs.
- **Beseitigen von Elektrolyten**. Frühzeitiges Abwaschen von Streusalzresten und Körperschweiß.

**Parallelschaltung****Bild 1: Elektrische Größen in Parallelschaltungen****Teilspannungen und Gesamtspannung:**

An jedem Widerstand fällt die gleiche/gesamte Spannung ab.

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2$$

$$U_{\text{ges}} = R_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}} = U_1 = R_1 \cdot I_1 = U_2 = R_2 \cdot I_2$$

**Teilströme:**

Durch jeden Widerstand fließt ein Teilstrom. Der jeweilige Strom ist abhängig vom einzelnen Widerstand und berechnet sich aus dem ohmschen Gesetz.

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

**Gesamtstrom:**

Der Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  entspricht der Summe der Teilströme.

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Gleichzeitig gilt das ohmsche Gesetz:

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$$

**Gesamtwiderstand:**

Der Kehrwert des Gesamtwiderstands  $R_{\text{ges}}$  entspricht der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Für zwei Widerstände gilt vereinfacht:

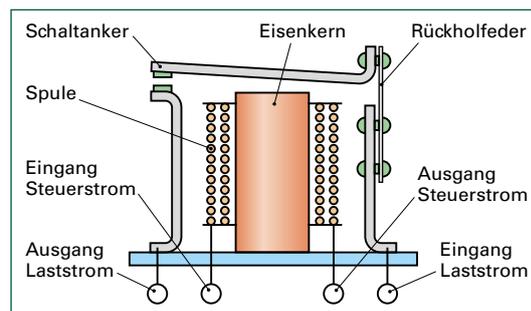
$$R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

**1.8.8 Elektrische Bauelemente**

Als **elektrisches Bauelement** wird in der Elektrotechnik ein wesentlicher Bestandteil einer elektrischen Schaltung bezeichnet, der physisch nicht weiter unterteilt werden kann, ohne seine Funktion zu verlieren. Wichtige elektrische Bauelemente sind Spannungsquelle, Widerstand, Kondensator, Spule, Diode, Transistor und integrierte Schaltung. Grundlegende Arten von Bauelementen werden in Schaltplänen durch genormte Schaltzeichen symbolisiert.

**Mechanische Bauelemente** sind Schalter, Leitungen oder Steckverbindungen.

**Relais** sind elektromagnetisch betätigte Schalter. Der Strom des Steuerstromkreises fließt durch die Spule und erzeugt ein Magnetfeld. Dadurch wird der Schaltanker angezogen, der die Schaltkontakte für den Laststromkreis (Arbeitsstromkreis) schließt (**Bild 2**).

**Bild 2: Elektrisches Relais**

Relais dienen dazu, um:

- den Steuerschalter nicht durch hohe Arbeitsströme zu überlasten.
- bei großen Arbeitsströmen den Lastschalter (Relais) näher an die Last zu positionieren, um für hohe Ströme kürzere Leitungen zu verwenden
- mehrere Stromkreise gleichzeitig zu schalten.
- zwei Stromkreise galvanisch zu trennen.

Bei einem **Reed-Kontakt** erfolgt die Betätigung durch ein von außen wirkendes Magnetfeld. Durch das Magnetfeld ziehen sich die beiden Kontaktzungen (**Seite 138, Bild 1**) an und schließen den Arbeitskreis. So schließt der Speichenmagnet eines elektronischen Fahrradachso bei jedem Umlauf in einem Reed-Kontakt kurzzeitig einen Stromkreis. Die Zeitdauer zwischen den entstehenden Impulsen wird durch den Computer ausgewertet.

1

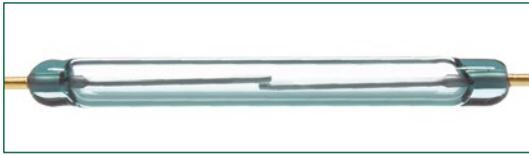


Bild 1: Reed-Kontakt

**Passive Bauelemente** zeigen keine Verstärkerwirkung und keine Steuerungsfunktion.

**Ohmsche Widerstände** begrenzen in einer elektronischen Schaltung den Stromfluss (die Stromstärke) oder bewirken einen Spannungsabfall. Sie sind so konstruiert, dass ihr elektrischer Widerstand nur gering von der Spannung, der Stromstärke und der Temperatur verändert wird. Meist wird auf den kleinen Bauelementen der Widerstandswert durch einen Farbcode angegeben (Bild 2).



Bild 2: Widerstand

Ein **Kondensator** besteht im Prinzip aus zwei Metallplatten, die durch einen Isolierstoff (Dielektrikum) getrennt sind (Bild 3a). Zwischen diesen Platten wird Energie in Form eines elektrischen Feldes gespeichert. In der Praxis werden statt Metallplatten sehr dünne Folie aufgerollt, so dass eine große Oberfläche bei geringer Baugröße entsteht. Durch Variationen der Elektroden und des Dielektrikums kann die Kapazität des Kondensators erheblich gesteigert werden.

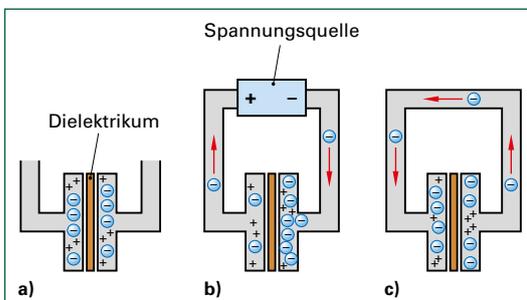


Bild 3: Kondensator: a) ungeladen b) Aufladevorgang c) Entladevorgang

Legt man eine Gleichspannung an die Pole der beiden Platten, so fließt ein Ladestrom, bis die Spannung am Kondensator jener der Spannungsquelle entspricht: Der Kondensator ist geladen (Bild 3b). Damit wird ein weiterer Stromzufluss in den Leitungen gestoppt. Trennt man den aufgeladenen Kondensator von der Spannungsquelle, bleibt die elektrische Ladung auf den Kondensatorplatten erhalten. Verbindet man die beiden Kondensatoranschlüsse elektrisch leitend miteinander, wird der Kondensator entladen (Bild 3c).

Das Speichervermögen eines Kondensators wird als **Kapazität C** bezeichnet und ist das Verhältnis der Ladung  $Q$  zur Spannung  $U$ . Die Einheit ist das Farad [F].

Ein Kondensator braucht zum Laden und Entladen Zeit (Bild 4). Nach einer bestimmten Ladezeit hat ein Kondensator 63 % der Endspannung erreicht. Diese Zeit wird als Zeitkonstante  $\tau$  (griech.: tau) bezeichnet. Nach einer Zeitdauer von  $5 \cdot \tau$  ist er vollständig geladen.

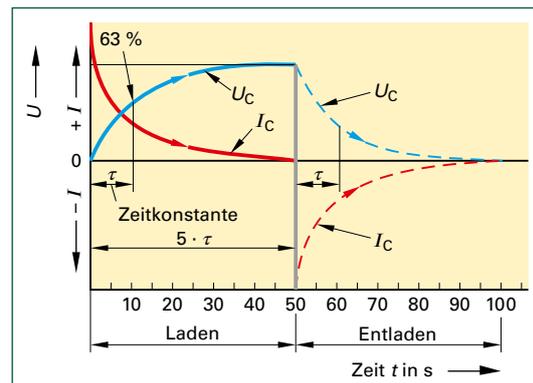


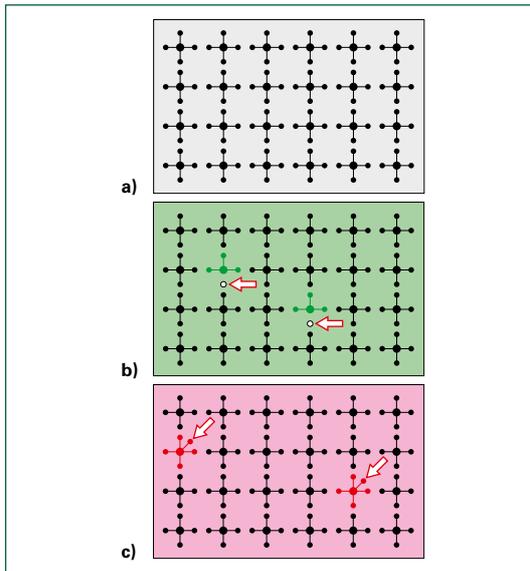
Bild 4: Lade- und Entladekurve eines Kondensators

Anwendungen für Kondensatoren sind z. B.:

- Als Spannungsquelle für das Fahrradstandlicht.
- Zum Glätten einer pulsierenden Gleichspannung.
- Als Zeitglieder in elektronischen Schaltungen.

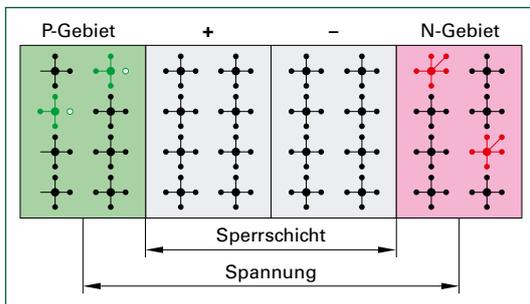
**Aktive Bauelemente** können zur Verstärkung von Signalen oder zur logischen Steuerung eingesetzt werden. Dazu beziehen sie Hilfsenergie aus einer zusätzlichen Speisung oder erzeugen elektrische Energie selber. Aktive Bauelemente sind aus **Halbleiter**-Werkstoffen aufgebaut. Häufig verwendetes Halbleitermaterial ist Silizium. Silizium hat keine freien Ladungsträger, denn es benötigt seine vier Außenelektronen zur eigenen Bindung des Kristallgitters (Seite 139, Bild 1a). Um das Material leitfähig zu machen, wird Sili-

zium dotiert, d.h. mit chemischen Elementen verunreinigt, die mehr oder weniger Elektronen als Silizium besitzen. Bei der Dotierung mit Indium (drei Außenelektronen) entstehen Fehlstellen, die auch als „Löcher“ oder „Defektelektronen“ bezeichnet werden. Diese Löcher sind beweglich; sie verhalten sich wie freie (positive) Ladungsträger (**Bild 1b**). Das Siliziumkristall wird zum P-Leiter. Arsen mit seinen fünf Außenelektronen gibt bei der Dotierung ein Elektron als Ladungsträger ab (**Bild 1c**) – das Siliziumkristall wird negativ leitend, es wird zu einem N-Leiter.



**Bild 1:** Halbleiter a) Reines Silizium b) P-Dotierung mit Indium c) N-Dotierung mit Arsen

Bei einer **Diode** sind N- und P-dotierte Kristallschichten zusammengeführt. Es bildet sich eine neutrale Sperrschicht mit einem Gleichgewicht von Löchern und Elektronen (**Bild 2**).

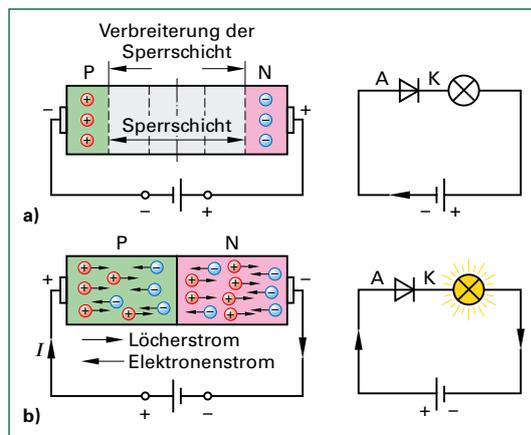


**Bild 2:** Spannung zwischen dem N- und dem P-Teil einer Diode

Verbindet man den Pluspol einer Gleichspannungsquelle mit dem N-Pol der Diode und den Minuspol mit dem P-Pol, wird die Sperrschicht

breiter. Damit wächst der Widerstand in der Sperrschicht und es fließt kein Strom. Die Diode ist in Sperrichtung geschaltet (**Bild 3a**).

Bei umgekehrter Polung werden die freien Elektronen der N-Schicht vom Minuspol der Spannungsquelle in die Sperrschicht hineingedrückt. Gleichzeitig wandern die Löcher der P-Schicht in die Sperrschicht und verringern den Widerstand. Bei einer Schwellspannung von ca. 0,7 V wird die Siliziumdiode stromleitend (**Bild 3b**). Die Pfeilrichtung im Schaltbild einer Diode gibt die Durchlassrichtung des Stromes an.



**Bild 3:** Diode a) in Sperrrichtung b) in Durchlassrichtung. A = Anode K = Katode

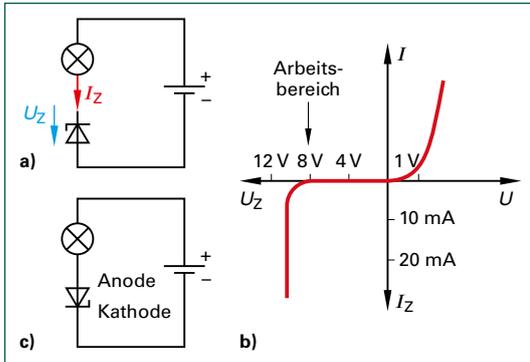
Ist die angelegte Spannung in Sperrichtung zu groß, wird die Sperrschicht durchschlagen und der Stromfluss zerstört die Diode. In Durchlassrichtung hingegen haben Dioden einen sehr geringen Widerstand. Deshalb sind für ihren Betrieb Begrenzungswiderstände notwendig, weil sonst ein zu hoher Stromfluss ebenfalls das Bauteil zerstört.

Dioden werden unter anderem zur Gleichrichtung (Umwandlung von Wechselspannung zu Gleichspannung) eingesetzt.

Eine **Z-Diode** (Zener-Diode) ist eine Diode, die darauf ausgelegt ist, dauerhaft in Sperrichtung im Bereich der Durchbruchspannung betrieben zu werden. In Durchlassrichtung verhält sie sich wie eine normale Silizium-Diode. In Sperrichtung sperrt sie den Strom bis zu einer bestimmten Spannung, der Durchbruch- oder Zenerspannung  $U_z$  (**Seite 136, Bild 1**). Bei dieser Spannung wird die Z-Diode schlagartig leitend. Unterschreitet die Spannung die Zenerspannung, sperrt die Diode wieder. Der fließende Durchbruchstrom  $I_z$  muss durch einen Vorwiderstand begrenzt werden. Z-Dioden sind zur Spannungsstabilisierung

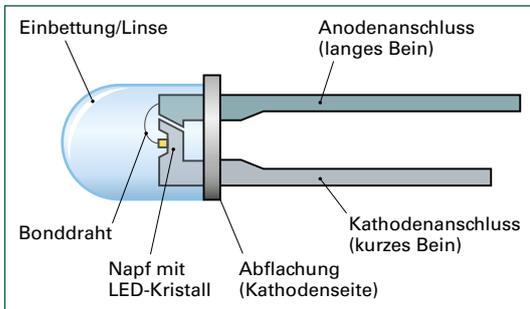
1

und zur Spannungsbegrenzung geeignet. Zwei gegenpolig geschaltete Z-Dioden schützen in Halogen-Frontleuchten die Halogen-Glühlampe vor einer zu hohen Wechselspannung des Generators.



**Bild 1:** a) Z-Diode in Sperrrichtung b) Kennlinie c) Z-Diode in Durchlassrichtung

Eine **Leuchtdiode** (LED = Light Emitting Diode) sendet Licht aus, wenn durch sie in Durchlassrichtung ein Strom bestimmter Stärke fließt (Bild 2). In der Grenzschicht des Halbleiters vereinigen sich (rekombinieren) freie Elektronen und „Löcher“. Die dabei freiwerdende Energie wird als Licht abgestrahlt.

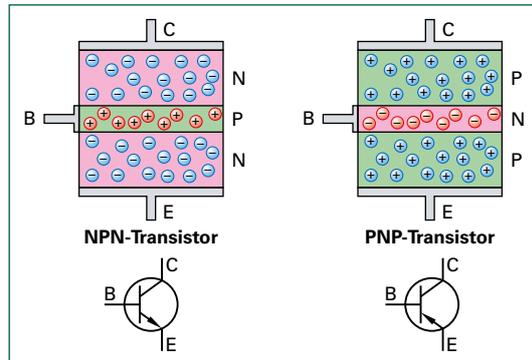


**Bild 2:** Leuchtdiode

Mit **Transistoren** (transient = steuerbar, Resistor = Widerstand) kann ein großer Strom mit einem kleinen Steuerstrom beeinflusst werden. Deshalb dienen Transistoren als Leistungsverstärker oder Schalter. Die drei Anschlüsse sind:

- Basis (B) - Grundmaterial bei der Herstellung
- Emmitter (E) - sendet Ladungsträger aus
- Kollektor (C) - sammelt Ladungsträger ein

Je nach Schichtenfolge der P- und N-Schichten unterscheidet man NPN- und PNP-Transistoren (Bild 3). Die NPN-Transistoren werden am häufigsten verwendet.



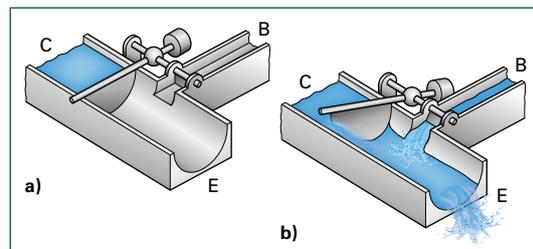
**Bild 3:** NPN-Transistor und PNP-Transistor

Beim NPN-Transistor liegt die Basis an P, der positiven Schicht. Hier steuern positive Ladungsträger etwa die 100-fache Menge an negativen Ladungsträgern, die vom Emmitter zum Kollektor fließen. Beim PNP-Transistor liegt die Basis an N, der negativen Schicht. Bei beiden Transistortypen haben die Strecken BC und BE die Eigenschaften einer Diode, die in einer Richtung leitet und in der anderen Richtung sperrt (Bild 4).

Halbleiterschichten	Vergleich mit Dioden
<b>PNP</b> 	
<b>NPN</b> 	

**Bild 4:** Vergleich von Transistor und Diode

Wie bei der Siliziumdiode ist beim Transistor eine Basis-Emmitter-Spannung von +0,7 V nötig, damit der Transistor durchschaltet, d.h. die Kollektor-Emmitter-Strecke leitend wird. Bild 5 zeigt als Modell, wie man sich die Wirkungsweise eines Transistors als Schalter und Verstärker vorstellen kann.



**Bild 5:** Modell eines Transistors als Schalter

## 1.9 Steuerungs- und Regelungstechnik

Die Steuerungs- und Regelungstechnik soll den Menschen bei allgemeinen Arbeitsabläufen unterstützen, entlasten oder sogar die Ausführung vollständig übernehmen.

### 1.9.1 Steuerung

Das **Steuern** oder die **Steuerung** ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder auch mehrere Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen aufgrund der Gesetzmäßigkeit des Systems beeinflussen.

Die Steuerungsart richtet sich nach der **Signalart (Bild 1)** und kann analog, binär oder digital realisiert sein.

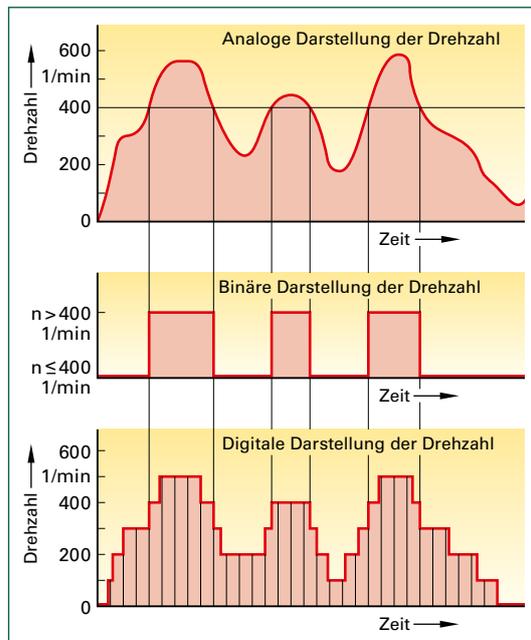


Bild 1: Signalarten

In **analogen Steuerungen** sind die Ein- und Ausgangsgrößen der Steuereinrichtung analogsignale. Diese Steuerungen besitzen keine Rückkopplungen. Beispiel einer analogen Steuerung ist die stetige Veränderung einer Hebelstellung einer Presse beim Drehen einer Kurvenscheibe, an der der Hebel anliegt.

In **Binär-Steuerungen** können die Ein- und die Ausgangsgrößen zwischen zwei Zuständen wechseln, wie die Schalterstellung (Ein/Aus), die Ventilstellung (Offen/Geschlossen) oder der

Bewegungszustand des Motors (Drehend/Ste-hend). Gesteuert werden dann z. B. eine Beleuchtung, ein Wasserfluss oder die Bewegung eines Fahrzeugantriebs. Es können auch verschiedene Sensor- und Steuerimpulse logisch miteinander verknüpft werden, damit bestimmte Schritte erst ausgeführt werden, wenn andere bearbeitet wurden, oder es wird ein Wegprogramm oder ein Zeitprogramm (z. B. Programmsteuerung einer Waschmaschine) abgearbeitet.

Eine **digitale Steuerung** liegt vor, wenn in ihr Mehrbitsignale verarbeitet werden. Die auf diese Weise codierten Informationen können abgestufte Werte darstellen. Zur Verarbeitung digitaler Signale sind Steuerbefehle mit Byte- bzw. Wortoperanden (Wortanweisungen) erforderlich, wie sie in Computer-Algorithmen realisiert sind.

Kennzeichen der **Steuerung** sind ein offener Wirkungsablauf und meist binäre Steuergrößen (Bild 2).

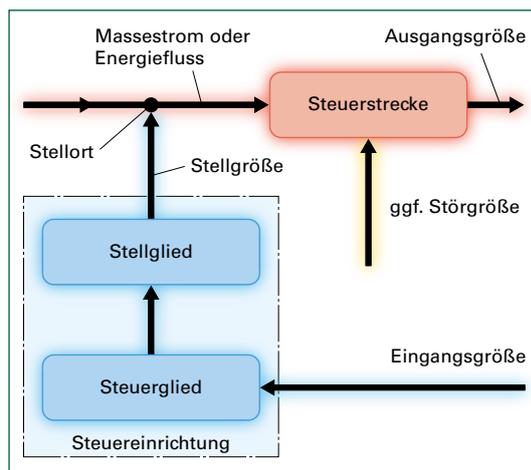


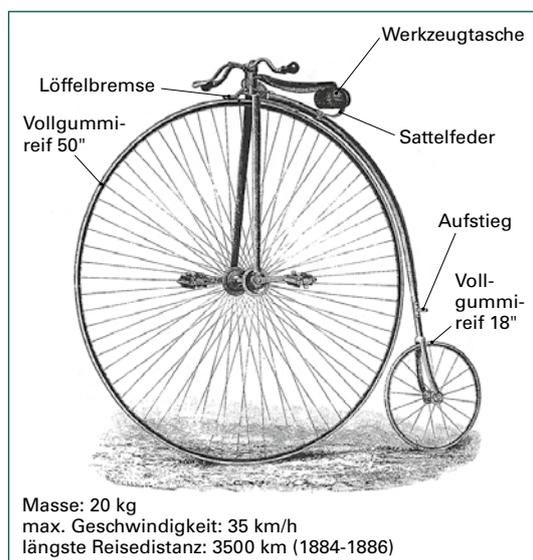
Bild 2: Grundstruktur der Steuerkette

#### Beispiel:

Ein Waschmaschinenprogramm, bei welchem der Wasserzufluss, die Waschmittelzugabe, die Heizung und der Elektromotor für die Bewegung der Trommel durch das Ein- und Ausschalten der jeweiligen Stromkreise realisiert ist, ist eine reine **Zeitsteuerung**. Die Geschwindigkeit, mit der die Schaltwelle von einem Elektromotor gedreht wird, bestimmt dabei unabhängig von den tatsächlichen Bedingungen den Ablauf des Programms (Seite 142, Bild 1). Ein Defekt z. B. in der Heizung wird nicht erkannt und eine Änderung des Programms findet nicht statt.

Paris bot mit seinen Boulevards und ihrem glatten Makadam-Belag geeignete Fahrbahnen, und die Söhne des Chemiefabrikanten Olivier aus Avignon starteten in Paris über einen Strohmann, den Mechaniker *Pierre Michaux*, die Firma Compagnie Parisienne zur Serienfertigung des Kurbel-Velozipeds (lat. für „Schnellfuß“). Anfangs waren die Rahmen aus Temperguss, später aus Schmiedeeisen.

Zugspeichen aus Stahldraht (Patent *Eugène Meyer*, 1868) ermöglichten höhere Vorderräder und somit höhere Geschwindigkeit bei den Wettfahrten. *Eugène Meyer* baute bereits Hochräder. Die Compagnie Parisienne der Oliviers baute ca. 4800 Velozipede, die übrigen 30 französischen Manufakturen sowie andere in Europa, England und den USA, wohl mehr als zehntausend.



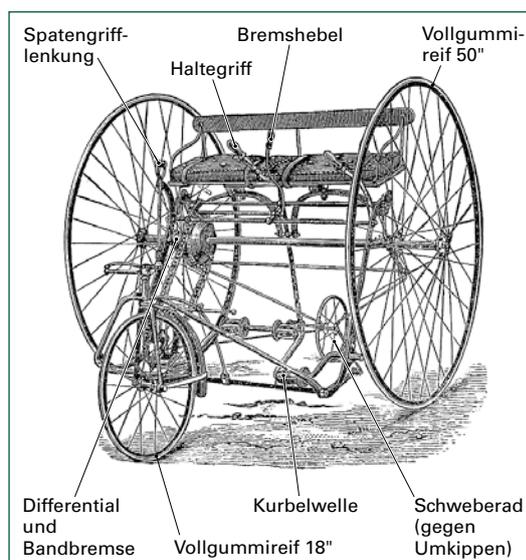
**Bild 1: Hochrad, auch „Ordinary“ genannt**

Von dem wirtschaftlichen Abschwung durch den Deutsch-Französischen Krieg von 1870/71 erholten sich die französischen Fahrradbauer nicht wieder. Zu dieser Zeit verlagerte sich das Zentrum des Fahrradbaus nach England. *James Starley* in Coventry hatte sein **Hochrad** „Ariel“ mit Radialspeichen 1870 patentiert und 1874 dann Tangentialspeichen für sein „Lady’s Ariel“. Davon ist das Tangentialspeichenrad als das definitive Lauftrad der Fahrräder bis heute geblieben.

Die jungen britischen Bicyclisten scheuten das Risiko eines Kopfsturzes aus der Sitzhöhe nicht und es gab zeitweise ca. hundert Hochradbauer. Nachstellbare Kugellager in Radnaben, Pedalen und dem Lenkkopf wurden Standard, ebenso Vollgummireifen. Für Damen und ältere Herren gab

es standsichere hohe Dreiräder, ab 1880 auch mit Kettenantrieb. Als zweiseitiges Gefährt nannte man sie **Sociable** (Bild 2). Diese waren die Vorbilder für das „Motorenveloziped“ von *Karl Benz*, von ihm dann als „Patentmotorwagen“ bezeichnet.

Die Dreiräder verwendeten den Kettenantrieb, um die Pedaldrehzahl in die passende Drehzahl der Hinterräder zu übersetzen, was über die Zahnzahlen der beiden Kettenräder leicht zu erzielen war.



**Bild 2: Sociable**

Als Lösung, das Radfahren sicherer zu machen, verkleinerte *William Hillman* das Vorderrad und trieb es beidseitig durch je eine Kette zwischen Pedalkurbel und Vorderradnabe an („Cangaroo“ 1884). Damit war gedanklich der Weg frei, Niederäder mit einseitigem Kettenantrieb aufs Hinterrad zu bauen, wie schon in französischen Patenten ab 1868 angedacht war. Ernsthaft setzte mit der britischen Fahrradmesse von 1885 der Trend zum **Niederrad** mit John Kemp Starleys „Rover“ ein. Im Folgejahr hatten alle großen Hersteller ein handliches Niederrad, kurz „**Safety**“ genannt, im Angebot (Seite 146, Bild 1). Allerdings war wegen der kleinen Räder das Fahrgefühl viel holpriger als bei den seinerzeit „**Ordinary**“ (engl. gewöhnlich) genannten Hochrädern. Trotzdem setzten Starleys Rovermodelle „den Trend für die Welt“ – so die Werbung.

Zunächst wurde der **Kreuzrahmen** (Patent Hillman 1886, Seite 146, Bild 1) favorisiert, dessen Rohrkreuz meist noch ein oder zwei zusätzliche Streben für mehr Steifheit besaß.

### 3.8.4 Knicklenker

Der **Knicklenker** (engl. lean steering) (**Bild 1**) ist eine Bauweise von Fahrrädern, bei denen der Rahmen in der Mitte geteilt und durch ein Scharnier verbunden ist. Der Lenkwinkel ist mit 40 bis 50° sehr flach und dementsprechend ist der Nachlauf mit 13 cm bis 30 cm extrem groß. Beim Lenken werden die beiden Rahmenteile gegeneinander verdreht. Gelenkt wird durch Gewichtsverlagerung. Der Lenkerbügel dient nur als Dämpfer der Lenkbewegung und als Träger für die Schalt- und Bremsenrichtungen.



Bild 1: Knicklenker-Liegefahrrad, Flevobike

Liegeräder mit Knicklenkung werden eigentlich freihändig gelenkt, auch wenn die Hände auf den Griffen ruhen. Das Fahren dieser Räder unterscheidet sich fundamental von dem anderer Bauarten und muss neu erlernt werden.

Das Handtrike von Stefan Farfler gilt als erste Darstellung dieser Lenkform. Der erste einspurige Knicklenker war ein Liegerad mit Frontantrieb, das ChaCha-Bike von Win van Wijnen (ca. 1982). Johan Vrieling entwickelte dieses zum **Flevobike** und Flevotrike weiter.

Das **Snaix** ist die Realisation des Knicklenker-Prinzips bei einem Sattelfahrrad (**Bild 2**). Dabei werden beim Fahren sehr komplexe Bewegungsmuster verlangt, die eine hohe geistige Konzentration verlangen.



Bild 2: Knicklenker-Sattelfahrrad, Snaix

Es existieren auch Handtrikes, die als Knicklenker ausgeführt sind.

### 3.8.5 Roller

Ein Roller ist ein zweirädriges Kleinfahrzeug mit einem bodennahem Trittbrett, auf dem sich eine Person stehend fortbewegen kann. Er wird durch Abstoßen mit einem Bein angetrieben.

Es wird vornehmlich zu therapeutischen Zwecken, vor allem bei Rückenproblemen, eingesetzt. Geschwindigkeiten bis 15 km/h sind ohne großen Kraftaufwand möglich. Sehr geübte Fahrer erreichen auch Werte über 30 km/h. Oberhalb dieser Geschwindigkeit entsteht beim Bodenkontakt des Fußes ein Bremsmoment, das die weitere Beschleunigung behindert. Bei Gefälle können Geschwindigkeiten von über 80 km/h erreicht werden. Je nach Bauart eignen sie sich als Transportmittel für Strecken bis 80 km (Großradroller).

Oft ist das Hinterrad bei Rollern 4" bis 8" kleiner als das Vorderrad. Dadurch wird ein kürzerer Radstand möglich, der die Steifigkeit des Rahmens erhöht. Verbessert wird hierdurch auch das Handling sowie der Transport. Das schmale Trittbrett vermeidet ein breitbeiniges Führen des Fußes beim Anstoßen. Dies spart beim Vortrieb Kraft, vermeidet ein Anstoßen am Fahrzeug und ermöglicht eine normale Körperhaltung wie beim Laufen. Je näher das Trittbrett am Boden ist, desto weniger wird das Standbein belastet. Hier wird die meiste Kraft benötigt, da das Knie immer leicht gebeugt ist und das Körpergewicht heben und senken muss. Auch der zur Verfügung stehende Hub des Abstoßbeines wird durch ein höheres Trittbrett negativ beeinflusst.

**Cityroller** sind eine gute Unterstützung für kleine Besorgungsfahrten. **Cruiser** dienen der gemütlichen Aus- bzw. Rundfahrt. Für Wettbewerbe werden **Rennroller** (**Bild 3**) konstruiert, die mit einem Gesamtgewicht z. T. unter 7 kg, 35 mm Bodenfreiheit und 28"-Rädern aufwarten.



Bild 3: Rennroller

Gabeln für Trommel-, Rollen- und Scheibenbremsen nehmen das durch die Bremskraft ausgelöste Reaktionsmoment (Abstützmoment) auf. Sie müssen daher biegesteifere Gabelscheiden besitzen als solche von Felgenbremsen.

Das Bremsmoment wird nur durch *eine* Gabelscheide übertragen. Diese Gabelscheide biegt sich entsprechend stärker durch. Der Gabelkopf (bzw. die Gabelbrücke) reagiert darauf mit einer Verdrehung.

#### Federwirkung

Eine Starrgabel bestimmt (wenn auch nur geringfügig) durch ihre Federwirkung den Fahrkomfort. Diese Wirkung ist abhängig vom/von:

- dem Gabelversatz,
- der Dimensionierung der Gabelscheiden und
- dem Werkstoff.

Bei einer **Straightfork** wird der Gabelversatz in einer geraden Linie erreicht. Damit die Lenkung einen Nachlauf hat, werden die Gabelbeine schräg nach vorn stehend am Gabelkopf oder direkt an den Gabelschaft gefügt (**Bild 1**). Sie sind etwas steifer und leichter als gebogene Gabeln.



Bild 1: Straightfork-Gabel

Als Werkstoff für Starrgabeln hat sich Stahl aufgrund seiner guten Dauerschwingfestigkeit bewährt. Sie wiegen zwischen 1000 g und 1500 g. Ebenso haltbar, aber aufwendiger in der Herstellung sind Voll-CFK-Gabeln (Gewicht: 350 g bis 600 g). Gewichtsmäßig dazwischen positionieren sich Aluminium-Gabeln.

#### 4.6.2 Lenkungslager

Das **Lenkungslager** (auch als Steuersatz bezeichnet) bildet das Lagersystem der Lenkgabel im Rahmen und lässt sie um die Lenkachse rotieren.

Das System besteht aus zwei Wälzlagern (**Bild 2**) und ist umso stabiler, je weiter die beiden Lagerstellen auseinanderliegen und je größer die Lagerdurchmesser sind.



Bild 2: Bauteile des geschraubten Lenkungsagers

Die Lenkungslagerung wird anders belastet als die meisten am Fahrrad eingebauten Lager. Während andere Wälzlager dauernd rotieren und senkrecht zur Rotationsachse (radial) belastet sind, rotieren die Kugeln/Nadeln kaum und sind beim normalen Fahren in Richtung der Rotationsachse (axial) belastet. Diese Anordnung ist für die Wälzkörper ungünstig, da sie die Fahrbahnstöße immer in derselben Position übertragen müssen. Die Folge sind oft Werkstoffermüdung und Wälzkörpereindrücke an der Lageroberfläche auch bei geschliffenen und einsatzgehärteten Laufbahnen. Durch die geringe Rotation der Wälzkörper sind auch die Schmierbedingungen ungünstig.

Um vorzeitigen Verschleiß zu vermeiden, muss die Lagerung exakt eingestellt sein:

- Bei zu fester Einstellung wird zu viel Druck auf Lagerflächen und Wälzkörper ausgeübt.
- Bei zu lockerer Einstellung, gibt es Bewegung zwischen den Teilen. Dadurch schlagen die Wälzkörper zwischen den Lagerflächen.

Generell sollten die Lager so locker wie möglich ohne Spiel oder Klopfen im System eingestellt werden.

Die Position der oberen und unteren Lagerungsebene wird durch das Lenkrohr definiert. Diese beiden Ebenen müssen für einen reibungslosen Betrieb parallel zueinander sein. Ist dies nicht der Fall, neigen die Lager beim Drehen der Gabel zum Verklemmen. Dies kann ebenfalls zu vorzeitigem Lagerverschleiß und einem schlechten Lenkverhalten führen.

Auch der Lagersitz über dem Gabelkopf muss rechtwinklig zur Drehachse der Gabel geschnitten sein, um ein Verklemmen der Gabel zu vermeiden.

In der Leichtbauweise sind die Lagerschalen aus Aluminium und mit einem gehärteten Stahlring für die Wälzkörperlaufbahnen versehen.

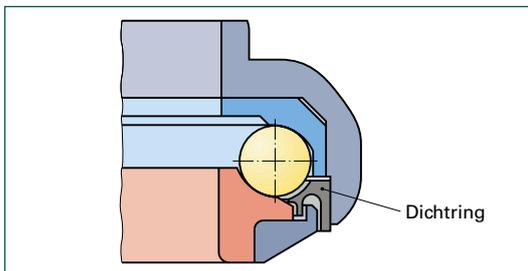
Bei Nadeln als Wälzkörper (**Bild 1**) ist der Kontaktbereich größer als bei Kugeln. Solche Lager sind entsprechend haltbarer, aber auch etwas schwieriger einzustellen.



**Bild 1: Nadellager mit Stahlaufbahnen**

#### Dichtungen

Das Eindringen von Wasser und Schmutz führt zu frühzeitigem Verschleiß der Lenkungslager. Bei Fahrrädern ohne Schutzbleche wird eine erhebliche Menge davon an die untere Lagerstelle geschleudert. Bei Sportfahrrädern sollte deshalb immer eine Abdichtung des unteren Lagers vorhanden sein (**Bild 2**).



**Bild 2: Untere Lagerschale mit Dichting**

Sind die Lager nicht gedichtet, müssen sie mit einer ausreichenden Menge von wasserabweisendem Schmierfett montiert werden. Das Fett sollte in regelmäßigen Abständen erneuert werden.

#### Bauarten

Mittlerweile sind alle neuen Sportfahrräder und viele Alltagsfahrräder mit Lenkungslagern für gewindelose Gabelschäfte, dem sogenannten **Ahead-Set**, ausgerüstet. An Citybikes und älteren Modellen findet man jedoch noch **geschraubte Lenkungslager**.

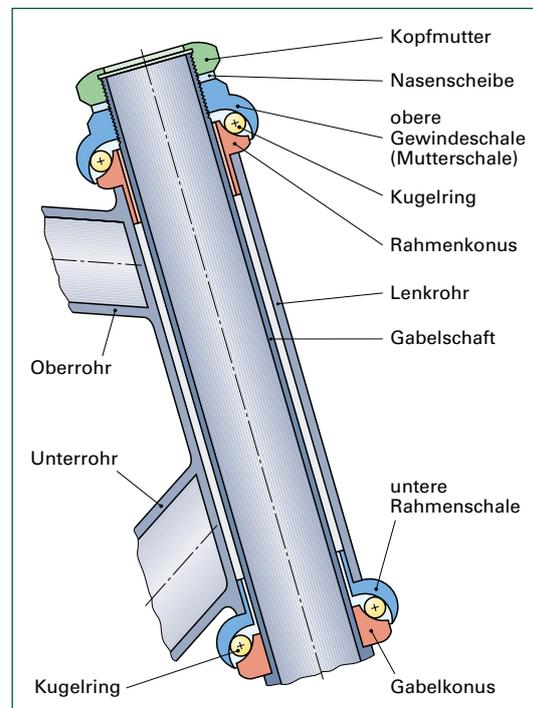
#### Geschraubtes Lenkungslager

Bei geschraubten Lenkungslagern (Gewinde-Lenkungslager) besteht das untere Lager aus dem Gabelkonus, dem Kugelring und der Rahmenschale. Das obere Lager besitzt dagegen einen

Rahmenkonus, den Kugelring und eine Gewindeschale (Mutterschale) sowie eine Überwurfmutter (Kopfmutter) und eine Verdrehsicherung (Nasenscheibe, **Bild 3**).

Der **Gabelkonus** wird per Presspassung auf dem Gabelschaft fixiert (Untermaß 0,1 mm bis 0,15 mm). Ebenso die Rahmenschale und der Rahmenkonus im Lenkrohr (Übermaß 0,1 mm bis 0,25 mm). Bei geringen Unterschreitungen von Unter- bzw. Übermaß kann das Bauteil auch zusätzlich mit Schraubenkleber gesichert werden.

Mit der „Mutterschale“ wird das axiale Spiel der Lagerung eingestellt. Die **Kopfmutter** sichert die Einstellung durch Konterung.



**Bild 3: Geschraubtes Lenkungslager**

Damit sich bei der Konterung die Mutterschale nicht verstellt, liegt zwischen ihr und der Kopfmutter eine Verdrehsicherung.

Ist dies eine Nasenscheibe, so greift ein Steg der Scheibe in eine Nut des Gabelschaftes. Da die Nut den Gabelschaft schwächt, ist bei höherwertigen Gabeln das Gewinde nur in einem kleinen Bereich flachgefeilt und eine Scheibe mit passendem Innenflach als Sicherung eingesetzt.

Zum Drehen der Kopfmutter sollte immer ein Norm-Gabelschlüssel mit breiten und geschliffenen Anlageflächen verwendet werden. Bei den

### Absenkbare Sattelstützen

**Absenkbare Sattelstützen** (engl. dropper post) lassen sich per Fernbedienung vom Lenker aus oder mit einem Hebel unter der Sattelnase entriegeln und über die Belastung durch das Körpergewicht während der Fahrt absenken. Dies kann notwendig sein, um dem Fahrer Bewegungsfreiheit bei einer Abfahrt zu geben. Um an einer anschließenden Steigung ein kräfteschonendes Pedalieren zu ermöglichen, wird der Sattel durch eine Stahl- oder Gasdruckfeder wieder in seine Normalposition hochgefahren. Sie sind am MTB im All Mountain- und Enduro-Bereich zum Standard geworden.

Die Ansteuerung der Stütze kann mechanisch, hydraulisch oder elektrisch erfolgen. Ein Seilzug oder eine hydraulische Leitung können am oberen Ende der Variostütze angebracht von außen montiert sein (**Bild 1**). Mittlerweile ist die Verlegung durch den Rahmen und von unten Standard. Die elektrische Ansteuerung wird drahtlos per Funk realisiert.



**Bild 1:** Seilzugbetätigte absenkbare Sattelstütze

In der Regel sind mindestens 100 mm Absenkung notwendig, um einen spürbaren Unterschied zur Normalposition zu bekommen. Den meisten Fahrern genügen 100 mm bis 150 mm; sehr große benötigen 170 mm bis 200 mm. Dieser Verstellweg kann je nach Konstruktion abgestuft oder stufenlos angefahren werden.

Absenkbare Sattelstützen bauen höher als feste Stützen und brauchen über dem oberen Ende des Sattelrohres noch 45 mm bis 70 mm Länge, auf die der Sattel nicht abgesenkt werden kann. Dies ist bei der Auswahl und Berechnung einer passenden Stütze zu beachten.

### Sattelstützklemmung

Das Fixieren der Sattelstütze im Sitzrohr des Rahmens erfolgt kraftschlüssig durch eine Klemmverbindung. Das wird bei Stahlrahmen meist von einer Klemmschraube bewirkt, die durch angelötete Ösen am oberen Ende des Sitzrohres geführt wird. Bei Rahmen aus Aluminium werden stattdessen Klemmschellen benutzt (**Bild 2**):

a) Klemmschraube mit Schnellspanner für ältere MTBs, ATBs und Klappräder.

b) Klemmschraube mit Steg als Verdrehsicherung für ältere Tourenfahräder und preisgünstige Fahrräder.

c) Klemmschraube mit Innensechskant und Hülsenmutter für hochwertige Stahlrahmen.

d) Klemmschelle mit Schnellpanner für falt- oder Mietfahräder.

e) Klemmschelle für Aero-Rahmen.

f) Klemmschelle mit Gewindeaugen zur Befestigung eines Gepäckträgers.

g) Klemmschelle mit Bowdenzuganschlag für eine Cantileverbremse.



**Bild 2:** Klemmschrauben und -schellen

Hinweise zur Montage von Sattelstützen:

- Das Sitzrohr im Rahmen muss frei von Graten sein, damit die Sattelstütze nicht verkratzt. Kratzer können durch ihre Kerbwirkung der Ausgangspunkt von Rissen werden. Gegebenenfalls muss das Sitzrohr ausgerieben oder ausgeschliffen werden.
- Der Innendurchmesser des Sitzrohres lässt sich präzise mit einer stufenförmigen Sitzrohrlehre ermitteln (**Bild 3**).



**Bild 3:** Sitzrohrlehre

## 5 Räder

Das Rad trägt die Last von Fahrrad, Fahrer und Gepäck (Systemmasse). Es ist das gestalt- und namensgebende Bauelement des Fahrrades.

Die vier Funktionseinheiten des Rades sind (Bild 1):

- Die **Nabe** bildet das Zentrum des Rades und erlaubt seine reibungsarme Rotation.
- Die **Speichen** bzw. die **Radscheibe** verbinden die Nabe mit der Felge.
- Die **Felge** trägt den Reifen, gibt dem Rad seine Form und dient ggf. als Bremsfläche.
- Der **Reifen** stellt den Kontakt des Rades mit der Fahrbahn her, um Antriebs-, Brems- und Seitenführungskräfte zu übertragen. Er gleicht in begrenztem Umfang Fahrbahnunebenheiten aus und ist damit ein Teil der Federung.

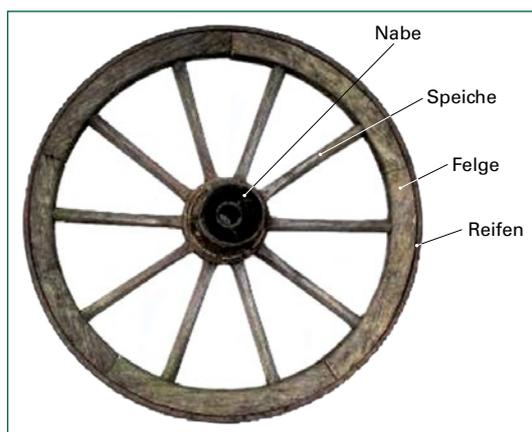


Bild 1: Funktionseinheiten des Rades

Es werden drei Arten des Rades unterschieden:

- Scheibenrad
- Ungespanntes Speichenrad (Druckspeichenrad)
- Vorgespanntes Speichenrad (Zugspeichenrad)

### 5.1 Scheibenrad

Die Urform des Rades ist das Scheibenrad. Es kann einfach hergestellt werden und hat eine hohe Tragfähigkeit. Es besitzt aber eine hohe Masse, weshalb man es lange Zeit nicht im Fahrradbau einsetzte, bis schließlich der Vorteil des geringeren Luftwiderstands (bei kontrollierten Windverhältnissen) erkannt wurde.

Der Anströmwinkel der Luft ist ein entscheidender Faktor bei der Betrachtung der Aerodynamik.

Bei einem Seitenwind, der unter einem Winkel von ca. 20° seitlich von vorne kommt, können Scheibenräder zusätzlichen Vortrieb erzeugen.

Bei Seitenwind drückt eine Flächenlast auf das Vorderrad und erschwert durch Rücksprung (Gabelversatz) und Nachlauf die Lenkung. Es ist daher in einem solchen Fall nicht sinnvoll, ein Scheibenrad als gelenktes Rad einzusetzen.

Verkleidete Speichenräder, bei denen die Speichen mit Textilien oder Kunststoffscheiben abgedeckt sind, gelten nicht als Scheibenräder. Sie sind bei offiziellen Wettkämpfen nicht zugelassen.

Erst mit der Verwendung leichter Verbundfasermaterialien ist der Einsatz von Scheibenrädern am Fahrrad sinnvoll geworden. Die Scheiben bestehen oft aus einem Schaum- oder Wabenkern, der auf beiden Seiten mit CFK-Scheiben abgedeckt ist. Die CFK-Beschichtung kann aus einzelnen Gewebelagen oder aus Kreissegmenten bestehen. Letztere vergrößern den radialen Faseranteil (Bild 2).

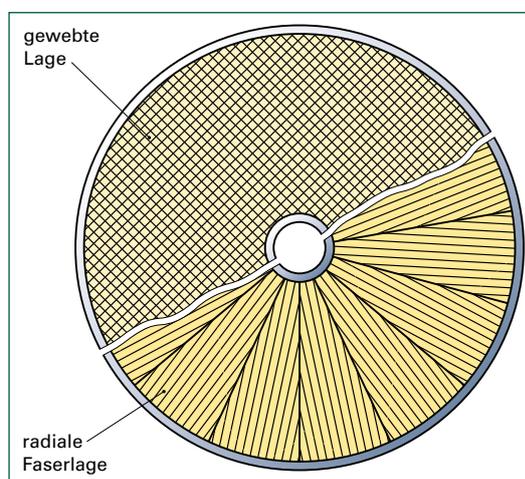


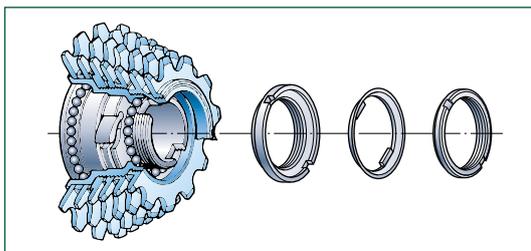
Bild 2: Faserlage im Scheibenrad

Nachteilig ist ihre mangelnde vertikale Elastizität, die zu einem unkomfortablen Lauf und Energieverlusten auf unebener Fahrbahn führt.

Bei Scheibenrädern bilden Nabe, Radscheibe und Felge eine Einheit. Die Fugestellen sind verklebt und Reparaturen dementsprechend aufwendig.

### Freilaufritzelsatz (Schraubzahnkranz)

Anstelle eines einzelnen Ritzels kann ein Freilauf auch eine Kombination von Ritzeln tragen. Die Ritzel sind mit verschiedenen Innendurchmessern stufenweise auf den Ritzelträger geschraubt oder gesteckt (**Bild 1**).



**Bild 1: Freilaufritzelsatz**

Der Freilaufkörper besitzt das gleiche Gewindemaß wie einzelne Schraub- oder Freilaufritzel. Zur Befestigung von Schraubritzel, Freilaufritzel oder Freilaufritzelsatz an der Nabe gibt es fünf Gewindegrößen (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Gewindemaße zur Ritzelbefestigung**

Maß	Bezeichnung	Verwendung
1,370" × 24 TPI 34,80 × 1,058 mm	Englisches Maß BSA	Schraubritzel, Freilaufritzel, Freilaufritzelsatz
35 mm × 24 TPI 1,378" × 1,058 mm	Italienisches Maß	Schraubritzel, Freilaufritzel, Freilaufritzelsatz
34,7 × 1,0 mm 1,366" × 25,4 TPI	Französisches Maß	Schraubritzel, Freilaufritzel, Freilaufritzelsatz
1,375" × 24 TPI 34,92 × 1,058 mm	US-Maß	Schraubritzel, Freilaufritzel, Freilaufritzelsatz
M 30 × 1	BMX	Freilaufritzel

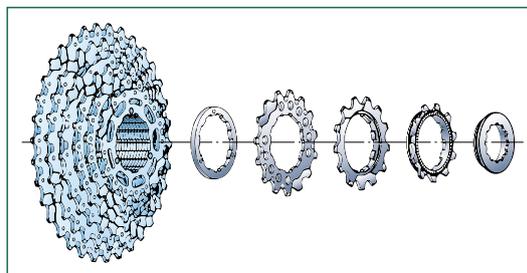
#### Hinweis:

Die verschiedenen Gewinde (außer BMX) unterscheiden sich in ihren Abmessungen nur minimal. Es ist bei der Montage auf jeden Fall mit Vorsicht zu testen, ob Nabe und Freilaufträger zusammenpassen.

Ein Gewinde nach französischer Bauart hat eine kleinere Steigung als die nach englischer, italienischer oder US-Bauart und sollte nicht mit solchen kombiniert werden.

### Steckritzelsatz (Kassette)

Bei einem Steckritzelsatz werden die Ritzel als vormontiertes Paket oder einzeln mit Zwischenringen auf den Ritzelträger aufgesteckt (**Bild 2**).



**Bild 2: Steckritzelsatz**

Die Drehmomentübertragung geschieht über ein Keilwellenprofil vom Ritzel auf den Ritzelträger. Ein Gewinding mit Rechtsgewinde wird als Abschluss in den Ritzelträger geschraubt. Als Werkzeug ist dafür ein passender Schlüsseinsatz (fälschlich oft als Abzieher bezeichnet) notwendig.

Zum Lösen wird der Ring gegen den Uhrzeigersinn geschraubt. Da die Nabe in dieser Richtung frei dreht, ist dabei die Kassette mit einer Kettenpeitsche festzuhalten.

### 5.5.2.2 Freilaufkupplungen

Die Freilaufkupplung stellt eine drehrichtungsabhängige Verbindung zwischen Ritzel und Nabe her. Wird der Antrieb langsamer, unterbrochen oder umgekehrt (reversiert), kann das Rad ohne Einschränkung seiner Bewegung in Fahrtrichtung weiterrollen.

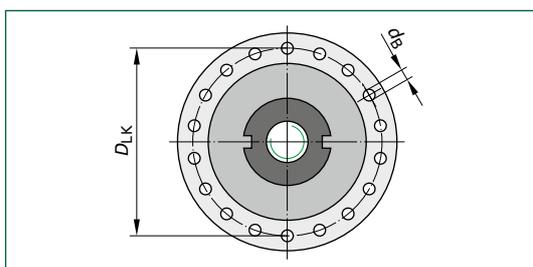
Die Erfindung des Freilaufs war einer der wichtigsten Beiträge, um das Fahrrad im 19. Jahrhundert massentauglich zu machen. Die bis dahin ständig mitdrehenden Pedale erschwerten die Handhabung, weil bei schneller Bergabfahrt die Füße oft den Halt auf den Pedalen verloren haben und es deswegen zu Stürzen mit schwerwiegenden Verletzungen kam. Ein weiterer Sicherheitsgewinn ergibt sich bei Kurvenfahrt in großer Schräglage, da das kurveninnere Pedal hochgehalten werden kann. Darüber hinaus ermöglicht der Freilauf das Rollenlassen des Fahrrades zur Erholung der Muskeln und beim Schalten von Getriebenaben entlastet er den Antriebsstrang vom Drehmoment.

Je nach Prinzip der Kraftübertragung unterscheidet man beim Freilauf zwischen:

- Formschluss durch Sperrklinken oder Zahnscheiben und
- Kraftschluss durch Klemmrollen oder Klemmkörper.

### Speichenbohrungsdurchmesser

Der Durchmesser der Speichenbohrung  $d_B$  liegt zwischen 2,3 und 3,0 mm (**Bild 1**). Er sollte 0,2 bis 0,3 mm größer als der Durchmesser im Bogen der Speiche sein, damit diese problemlos eingefädelt werden kann, dabei aber unnötiges Spiel vermieden wird. Größere Differenzen zwischen Speichenbohrung und -durchmesser vereinfachen die industrielle Fertigung von Rädern, verringern aber ihre Haltbarkeit.



**Bild 1:** Maße am Nabenflansch

### Hi-Lo-Nabe

Bei der Übertragung von Drehmomenten, die durch Antriebs- oder Bremskräfte entstehen, verdreht sich bei einseitiger Kräfteinleitung immer auch das Nabenmittelteil. Das bedeutet, dass der Nabenflansch, der näher zum Ort der Kräfteinleitung liegt, einen höheren Anteil des Drehmoments übertragen muss. Um die an diesem Flansch befestigten Speichen zu entlasten, werden gelegentlich Hi-Lo-Naben angeboten, deren höher belasteter Flansch einen größeren Durchmesser aufweist (**Bild 2**).



**Bild 2:** Hi-Lo-Nabe

Die Entlastung der Speichen durch die Vergrößerung des Lochkreisdurchmessers ist aber geringfügig, sodass diese Konstruktion nur in den Grenzbereichen der Gewichtsoptimierung sinnvoll einzusetzen ist.

### Flanschbrüche

Durch fehlerhafte Montage oder durch eine falsche Kombination von Bauteilen kann es zu einer

Rissbildung am Flansch kommen, die normalerweise zu einem Bruch führt.

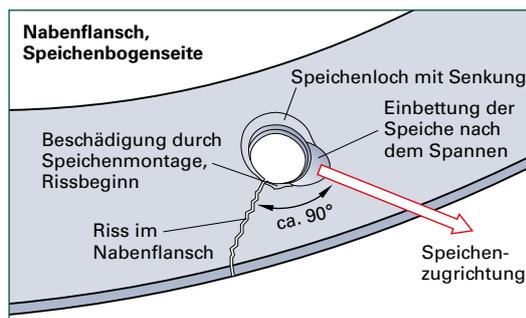
Mögliche Ursachen für Flanschbrüche an Fahrradnaben sind:

**1 Radiale Einspeichung in einer vom Nabenhersteller nicht dafür vorgesehenen Nabe.**

Dabei wirkt eine zu hohe Gesamtzugkraft der Speichen auf einen schwach ausgelegten Flansch. Gleichzeitig wird die zyklische Ent- und Belastung der Speichen nicht durch Unterkreuzungen abgefedert (**vgl. Kap. 5.7.5**).

**2 Falsche Speichengeometrie (Speichenbogenlänge zu kurz und/oder Drahtdurchmesser im Speichenbogen zu groß).**

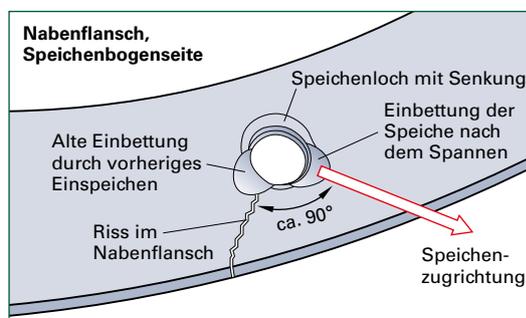
Die Speiche beschädigt beim Einfädeln, Ausrichten oder Spannen den Rand der Speichenbohrung durch Quetschung. Wenn die Beschädigung im Winkel von ca. 90° zur Speichenzugrichtung liegt, kann der Nabenflansch einreißen (**Bild 3**).



**Bild 3:** Rissbildung durch falsche Speichengeometrie

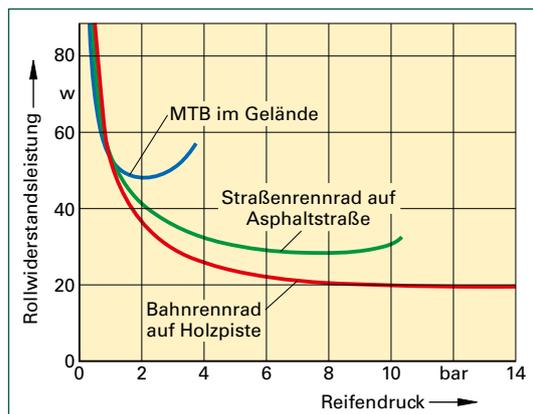
**3 Umspeichen mit geänderter Speichenausrichtung (zweites Einspeichen der Nabe).**

Die alte Einbettung wirkt wie eine Beschädigung oder Kerbe an der Speichenbohrung. Da die alte Einbettung ca. im 90° Winkel zur neuen Zugrichtung steht, kann sie der Ausgangspunkt für einen Riss im Flansch sein (**Bild 4**).



**Bild 4:** Rissbildung durch falsche Speichenbettung

Je nachgiebiger und unebener die Fahrbahn ist, desto präziser ist der korrekte Reifendruck auszuwählen. Bei festem und glattem Untergrund „darf es auch mal ein bisschen mehr sein“, ohne dass der Rollwiderstand zu stark beeinflusst wird (**Bild 1**). Oft ist der Reifendruck zu hoch eingestellt, weil die starken Vibrationen dem Fahrer eine hohe Geschwindigkeit suggerieren.



**Bild 1:** Abhängigkeit des Rollwiderstands vom Reifendruck bei unterschiedlichen Fahrbahnen

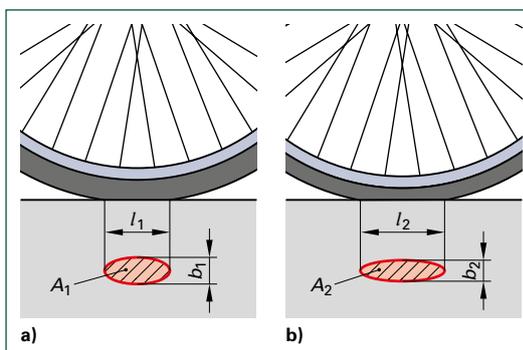
#### Einfluss des Materials

Das verwendete Material hat einen erheblichen Einfluss auf den Rollwiderstand eines Reifens:

- Weniger Material für Karkasse, Lauffläche und Schlauch vermindern die für die Verformung aufzuwendenden Kräfte.
- Elastischeres Material für Karkassenfäden, umgebende Gummimatrix und Schläuche erhöhen die Rate der Rückgewinnung der eingebrachten Energie.
- Flexibleres Material verbessert die Anpassung des Reifens an die Fahrbahnoberfläche und reduziert beim Überfahren von Gegenständen und Hindernissen die Länge des Reifenlatsches (**s. Seite 228, Bild 1**).
- Schläuche, die möglichst genau dem Innendurchmesser des Reifens entsprechen, sind weniger durch den Luftdruck vorgespannt und haben einen geringeren Verformungswiderstand als zu kleine Schläuche.

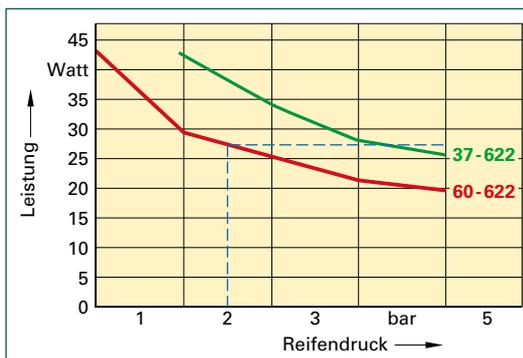
#### Breite vs. schmale Reifen

Die Größe der Aufstandsfläche ist vom Innendruck abhängig, ihre Form aber von der Reifenbreite. Während der breite Reifen einen kurzen Latsch ausbildet, ist der des schmalen länger. Ein schmalere Reifen hat dementsprechend auch ein höheres Bremsmoment (**Bild 2**).



**Bild 2:** Vergleich von Aufstandsflächen  
a) breiter Reifen, b) schmalere Reifen

Breite Reifen senken sich auch nicht so stark in Vertiefungen der Fahrbahn ab. Unebenheiten werden deshalb weniger stark als unerwünschte Schwingungen des Rahmens weitergegeben. Die Verlustleistung von breiten Reifen ist insgesamt geringer als die von schmalen (**Bild 3**).



**Bild 3:** Verlustleistung unterschiedlicher Reifenbreiten

#### Großer vs. kleiner Raddurchmesser

Kleine Raddurchmesser sind gegenüber großen bezüglich des Rollwiderstandes in mehrfacher Hinsicht benachteiligt:

- Der Reifen senkt sich tiefer ab, um dieselbe Aufstandsfläche zu erhalten. Das bedeutet eine höhere Walkarbeit.
- Das Hebelverhältnis  $s/r$  wird größer und damit das Bremsmoment  $M_b$  bzw. der Rollwiderstandsbeiwert  $k_R$ .
- Beim Überfahren eines Hindernisses entsteht ebenfalls ein für das kleine Rad ungünstiges Hebelverhältnis.
- Beim Durchfahren eines Schlaglochs ist die Einsinktiefe des kleinen Rades größer und somit steigt in diesem Fall noch zusätzlich die Höhe des Hindernisses.

## 15 Arbeitssicherheit

### 15.1 Gesetzliche Grundlagen

Das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) regelt die grundlegenden Arbeitsschutzpflichten des Arbeitgebers, die Pflichten und Rechte der Beschäftigten sowie die Überwachung des Arbeitsschutzes.

Der Arbeitgeber hat nach diesem Gesetz alle erforderlichen Maßnahmen zu treffen, um die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten zu gewährleisten. Voraussetzung dazu ist eine Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz. Der Arbeitgeber muss die Mitarbeiter über mögliche Gefährdungen und die notwendigen Schutzmaßnahmen unterweisen.

Die Mitarbeiter sind verpflichtet, die Arbeitsschutzanweisungen des Arbeitgebers zu beachten und ihre Gesundheit nicht zu gefährden.

Nach der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) sind Arbeitsstätten so einzurichten, zu benutzen und instand zu halten, dass von ihnen keine Sicherheits- und Gesundheitsgefahren für die Beschäftigten ausgehen. Unversehrtheit und Gesundheit sind ein Grundrecht der Beschäftigten.

Die staatlichen Aufsichtsbehörden wie Gewerbeaufsichtsämter und Unfallversicherungsträger (Berufsgenossenschaften) kontrollieren die betriebliche Umsetzung des Arbeitsschutzes.

Wird der gesetzliche Arbeitsschutz nicht erfüllt, so sind die Kontrollorgane verpflichtet, diese mit allen notwendigen Mitteln durchzusetzen. Dies kann bei unmittelbarer Gefahr für das Leben oder die Gesundheit der Mitarbeiter auch zum Stilllegen des Betriebes führen.

Arbeits- und Gesundheitsschutz ist Wertschätzung gegenüber den Mitarbeitern!

15

### 15.2 Sicherheitszeichen

Nach der Arbeitsstättenverordnung sind Gefährdungen am Arbeitsplatz durch Sicherheitszeichen zu kennzeichnen. Damit soll die Sicherheit erhöht und Unfälle bzw. Gesundheitsgefährdungen vermieden werden. Sie müssen gut sichtbar in unmittelbarer Nähe zur Gefährdungsstelle angebracht sein.

Die Sicherheitszeichen sind in der Berufsgenossenschaftlichen Vorschrift BGV A8: „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ und in DIN EN ISO 7010 von 2012 geregelt.

Ein Sicherheitszeichen beschreibt durch Kombination von geometrischer Form, Farbe und grafischem Symbol eine Situation oder schreibt ein Verhalten vor. In der BGV A8 sind vier Sicherheitsfarben festgelegt.

rot → Gefahr oder Brandschutz

gelb → Warnung

blau → Gebot

grün → Rettung, Hilfe

Die nachfolgend abgebildeten Sicherheitszeichen sind nur exemplarisch. Eine ausführliche Darstellung kann dem Tabellenbuch Fahrradtechnik entnommen werden.

**Verbotszeichen (Bild 1)** untersagen ein Verhalten, durch das eine Gefahr entstehen kann. Es sind runde Schilder mit weißem Hintergrund, schwarzer Grafik, roter Umrandung und rotem Querbalken.



Bild 1: Beispiele Verbotsschilder

**Warnzeichen (Bild 2)** warnen vor einem Risiko oder einer Gefahr. Es sind dreieckige Schilder mit gelbem Hintergrund, schwarzer Grafik und schwarzer Umrandung.



Bild 2: Beispiele Warnschilder

**Gebotszeichen (Bild 3)** schreiben ein bestimmtes Verhalten vor – meist das Tragen einer Schutzausrüstung. Es sind runde Schilder mit blauem Hintergrund, weißer Grafik und weißer Umrandung.



Bild 3: Beispiele Gebotsschilder

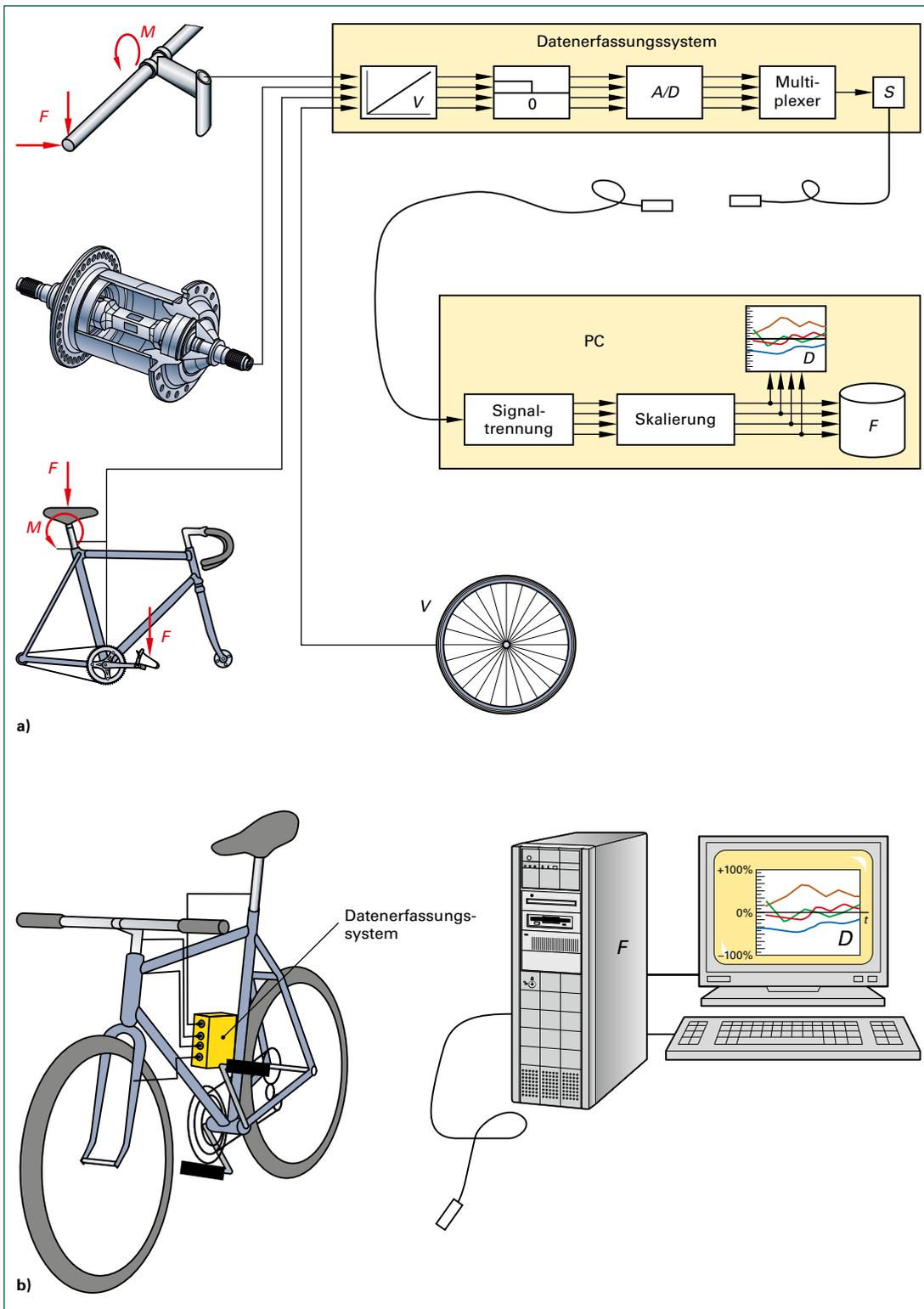


Bild 1: Datenerfassungsanlage a) Schematische Darstellung der Messkette b) Messaufbau