

Lego-Mindstorms im Physikpraktikum für das Lehramt Physik?

Thomas Frank, Karsten Jessen

Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Physik, Praktika
Edmund-Rumpler-Straße 9, 80939 München
Thomas.Frank@physik.uni-muenchen.de, karsten.jessen@physik.uni-muenchen.de

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, wie geeignet Lego-Mindstorms-Roboter und ihre Software für einen Einsatz im Physikpraktikum für das Lehramt Physik sind. Lego bietet sehr viele Konstruktionsmöglichkeiten, weckt keinerlei Berührungsängste, so dass es sich prinzipiell als Grundausstattung eines Projektversuchs eignen sollte. Damit könnte in den frühen Studiensemestern ein eigenständiges und freies Experimentieren möglich sein.

Dazu wurden ausgewählte, einfache Versuche aus den Bereichen Mechanik und Wärmelehre aufgebaut und getestet. Es wurde versucht, mit Hilfe der Lego-Mindstorms-Software quantitative Messungen und Auswertungen vorzunehmen, ohne dabei zu weit von den durch Lego und Dritt-Anbieter (Vernier) vorgegebenen Möglichkeiten abzuweichen. Die gewonnenen Erfahrungen lassen die Vorzüge und die Grenzen des Lego-Mindstorms-Systems deutlich hervortreten.

1. Physikalische Projektversuche mit Lego-Mindstorms

Die physikalischen Praktika der Ludwig-Maximilians-Universität München bieten den Studenten die Möglichkeit, ihr in der Vorlesung erlangtes, physikalisches Wissen anhand von vorgegebenen Versuchsaufbauten anzuwenden. Dafür stehen ihnen Versuchsanleitungen mit detaillierten Arbeitsanweisungen zur Verfügung. Zur realeren Vermittlung experimenteller Erfahrung soll den Studierenden des Lehramts Physik für Realschule nun die Möglichkeit gegeben werden, einen Teil dieser „Standard“-Versuche durch Projektversuche zu ersetzen. Charakteristisch für solche Versuche sind die offen gehaltenen Problemstellungen. Dabei sollen sich die Studierenden möglichst selbstständig die zugrunde liegende, physikalische Thematik erarbeiten, einen dafür geeigneten Versuchsaufbau entwickeln und eine qualitativ und quantitativ aussagekräftige Messung durchführen.

Einen geeigneten Rahmen, um dies zu verwirklichen, scheint das Lego-Mindstorms-System zu geben. Da den meisten Studenten Lego als Spielzeug seit ihrer Kindheit vertraut ist, sollten keine großen Berührungsängste bestehen. Die Entwicklung eines selbstständig entworfenen Versuchsaufbaus könnte mit Lego beinahe spielerisch umsetzbar sein. Für die angehenden Lehrer ist der Schulbezug, wegen des auch für den Unterricht geeigneten Materials, ein weiteres Argument für dieses System. Die graphische Oberfläche der mitgelieferten Programmierungssoftware erlaubt es zudem, ohne große informatische Vorkenntnisse Handlungsanweisungen zu erstellen. Auch ist es möglich die Anzahl der verschiedenen Sensortypen durch kompatible Sensoren anderer Anbieter (z.B. Vernier) zu erweitern.

Des Weiteren sind bereits in vielen Materialien, z.B. innerhalb der mitgelieferten Mindstorms-Education Software [1], Versuchsanleitungen mit detaillierten Schritt-für-Schritt Anweisungen für die Umsetzung verschiedener Versuche vorhanden, die als Einstieg für die geplanten Projektversuche dienen können.

2. Herangehensweise und Einbettung in den Lehrplan der sechsstufigen Realschule (Bayern)

Um die Eignung des Lego-Mindstorms-Systems für die angestrebten Projektversuche zu überprüfen, begab sich der Autor in die Rolle der Studenten und setzte vier Versuche aus dem Bereich der Mechanik und drei Versuche zum idealen Gasgesetz im Sinne einer offenen Aufgabenstellung um. Damit stellen die präsentierten Aufbauten, Durchführungen und Auswertungen exemplarische Umsetzungen der Versuche dar. Dabei standen sowohl ihre qualitative und quantitative Aussagekraft, als auch die Eignung der behandelten Themen als Projektversuche zur Diskussion.

Die umgesetzten Versuche sind eng an den bayerischen Lehrplan der sechsstufigen Realschule angelehnt. So bildet die Mechanik mit insgesamt 52 Unterrichtsstunden das meistbehandelte Themengebiet der Physik und ist bereits ab der siebten Jahrgangsstufe Lehrplanstoff [2]. Das ideale Gasgesetz wird ab der achten Jahrgangsstufe behandelt. In dieser rückt dann vermehrt der mathematische Aspekt der Physik in den Fokus [3].

3. Verwendete Materialien

In dieser Arbeit wurde mit dem im September 2006 erschienenen NXT-System (NeXT-Generation) gearbeitet [4]. Dabei fand sowohl das Lego-Mindstorms-Basisset (Artikel-Nr.: 9797) [5] als auch das Ergänzungsset (Artikel-Nr.: 9695) [6]

Anwendung. Zur Erstellung der Programme wurde ausschließlich mit der mitgelieferten NXT 2.1 PROGRAMMING Software gearbeitet. Ebenso erfolgte die Erfassung der Daten ausschließlich mit Hilfe der ebenfalls von Lego mitgelieferten NXT 2.1 DATA LOGGING Software [1].

Der Bestand der Sensoren wurde zudem mit dem Zweibereich Kraftsensor und dem Gasdrucksensor von Vernier [7] erweitert.

4. Umsetzung der Versuche

4.1 Versuche aus dem Bereich der Mechanik

4.1.1 Gleichförmige Bewegung

Dieser Versuch diente als Einstiegsversuch. So ist sowohl die Konstruktion des Roboters als auch die Erstellung des Programms in einem Tutorial der NXT 2.1 PROGRAMMING Software enthalten [1]. In Abb. 1 fährt der Roboter auf ein Zielobjekt zu. Der vorne angebrachte Ultraschallsensor erfasst die Änderung des Abstands zu diesem.



Abb. 1: Aufbau des Versuchs zur gleichförmigen Bewegung

Mit Hilfe der NXT 2.1 DATA LOGGING Software konnte der erwartete geradlinige Kurvenverlauf beim Auftrag der zurückgelegten Strecke gegen die dafür benötigte Zeit nachvollzogen werden. Mit Hilfe des enthaltenen Analysetools wurde zusätzlich anhand der Geradensteigung der Wert der (konstanten) Geschwindigkeit bei verschiedenen Antriebsleistungen ausgewertet.

Dieser Versuch ist insgesamt sehr gut als Einstiegsversuch geeignet. Er vermittelt schnell die Grundlagen im Umgang mit dem Lego-Mindstorms-System. Zudem funktioniert er problemlos und verspricht schnelle und reproduzierbare Ergebnisse.

4.1.2 Reibung

Die Umsetzung dieses Versuchs baute auf dem Einstiegsversuch auf und war die erste im Sinne eines Projektpraktikums. Der Roboter aus Abb.1 wurde um eine Aufhängung für den Kraftsensor von Vernier erweitert. Bei der Versuchsdurchführung zog der Roboter einen Probekörper von bekannter Masse hinter sich her. Dabei erfasste der Kraftsensor die auf den Körper wirkende Reibungskraft und der

vorne angebrachte Ultraschallsensor die Entfernung zu einem Zielobjekt.

Dabei wurde versucht, die beiden Reibungsphasen (Haft- und Gleitreibung) eines idealisierten Reibungsverlaufs mit Hilfe der NXT 2.1 DATA LOGGING Software sichtbar zu machen und anhand der dabei ermittelten Messwerte die Reibungskoeffizienten zu bestimmen.

Wie in Abb. 3 durch die grüne Linie dargestellt, funktioniert das Sichtbarmachen einer gut differenzierbaren Haftreibungsphase sehr gut. Auch die Bestimmung der Reibungskoeffizienten und der Nachweis ihrer Geschwindigkeitsunabhängigkeit gelang mit diesem Aufbau. Bei der Verwirklichung des Gleitreibungszustandes führten aufbaubedingte Gegebenheiten, wie ein dominanter Stick-Slip-Effekt [8], zu einem eher schwankenden statt konstanten Verlauf der Kraftkurve (Vgl. Abb. 3). Dies konnte auch durch diverse Veränderungen des Aufbaus (Schlittenvorrichtung für Probekörper, Bahn zur Fixierung des Schlittens, Verminderung der Reibung durch Silikonspraysatz) nur bis zu dem in Abb. 3 dargestellten Rahmen verbessert werden.

4.1.3 Kräfteparallelogramm

Bei dieser Umsetzung eines Versuchs zum Thema Kräfteparallelogramm sollte die gleichmäßige Aufteilung der Zugkraft auf zwei Kraftarme unter gleichem Winkel aufgezeigt werden. Zudem wurde anhand der Messungen an beiden Kraftarmen die resultierende Kraft rechnerisch bestimmt und mit der zuvor gemessenen verglichen.

Dies erfolgte zunächst mit einem sehr einfachen Aufbau. Dieser lieferte vielversprechende Ergebnisse. Danach wurde ein möglichst automatisierter Aufbau umgesetzt.

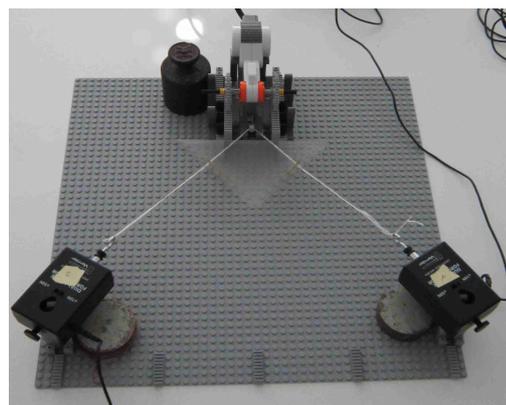


Abb. 2: Aufbau des Versuchs zum Kräfteparallelogramm

Allerdings gelang es mit diesem Aufbau, dargestellt in Abb. 2, weder die zuvor bestimmte resultierende Kraft zu bestätigen, noch konnte eine annähernd symmetrische Verteilung der Zugkraft auf beide Kraftarme beobachtet werden. Als große Schwierigkeit erweist sich hierbei die Gewährleistung eines konstanten Kraftzugs auf einen bzw. zwei Kraftarme. Innerhalb der Umsetzung dieses

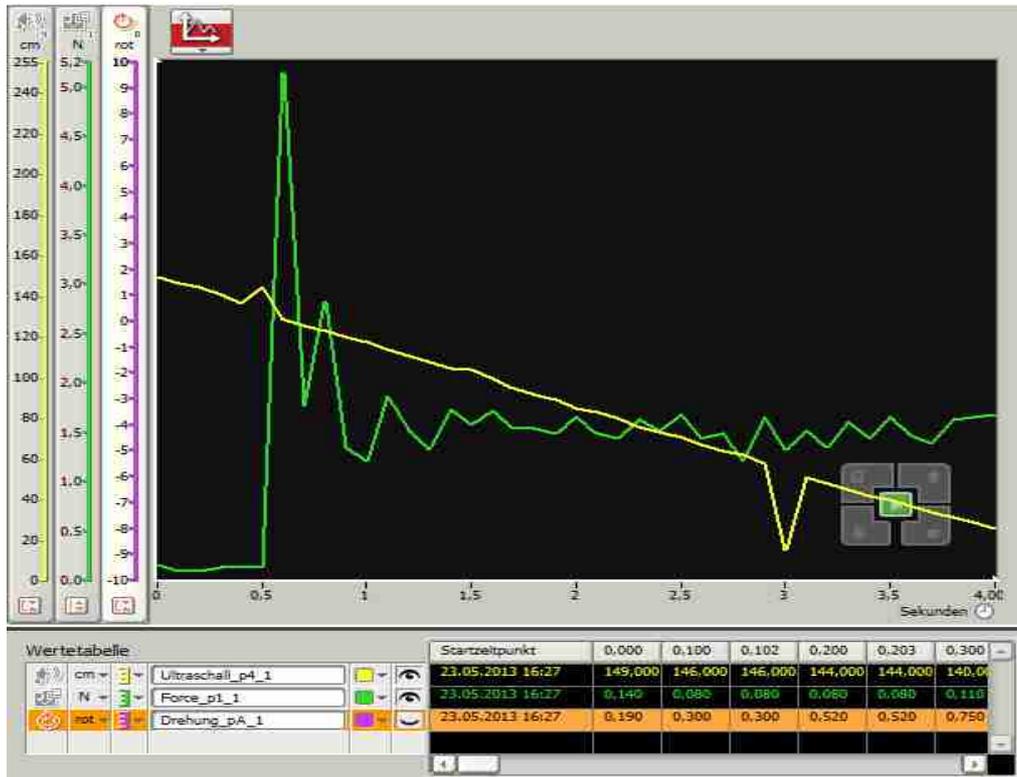


Abb. 3: Darstellung eines Reibungsverlaufs mit Hilfe der NXT 2.1 DATA LOGGING Software. Grüne Linie: Auftrag der Kraftsensordaten gegen die Zeit, Gelbe Linie: Auftrag der Ultraschallsensordaten gegen die Zeit.

Versuches kam es zudem zu der Erkenntnis, dass es bei der Kombination von Verniersensoren mit dem NXT-System zu individuellen Offsets in der Datenausgabe kommt. Dies macht die Erstellung von individuellen Adapter-Sensor-Kennlinien zur Berichtigung der ausgegebenen Messwerte nötig.

4.1.4 Schiefe Ebene

Bei der Umsetzung dieses Schulphysikklassikers, sollte aus der bei verschiedenen Winkeln gemessenen Hangabtriebskraft die Gewichtskraft eines angehängten Probekörpers bestimmt werden. Diese wurde dann mit dem theoretischen Wert verglichen.

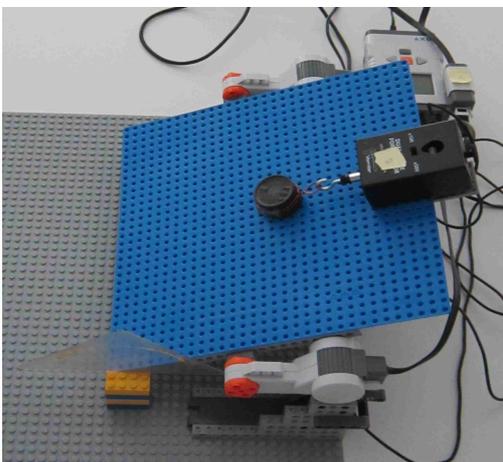


Abb. 4: Aufbau des Versuchs zur schiefen Ebene

Der in Abb. 4 dargestellte Aufbau erlaubt es, vollautomatisiert den Winkel einzustellen. Durch den oben angebrachten Kraftsensor kann zudem die Hangabtriebskraft des Probekörpers direkt bestimmt werden. Mit Hilfe des Geodreiecks wird die Genauigkeit der Winkelstellung überprüft

Messung	1	2	3	4
$\alpha / ^\circ$	15(5)	20(4)	33(3)	45(2)
\bar{F}_{HA} / N	0.45(2)	0.55(2)	0.70(3)	0.87(3)
F_{HA}^* / N	0.31(6)	0.40(7)	0.55(10)	0.71(13)
F_g / N	1.20(47)	1.17(32)	1.01(21)	1.00(19)

Tab. 1: Ergebnisse für die Gewichtskraft F_g (aus dem Winkel α) und der berichtigten Hangabtriebskraft F_{HA}^* (aus den Mittelwerten der gemessenen Hangabtriebskräften F_{HA}).

In Tab. 1 erkennt man, dass alle Ergebnisse für die Gewichtskraft F_g , errechnet aus dem Winkel α und der berichtigten Hangabtriebskraft F_{HA}^* , innerhalb ihrer Messunsicherheiten, den erwarteten Wert von 1,00 N wiedergeben. Auffällig ist dabei die größer werdende Unsicherheit der Winkelbestimmung hin zu den größeren Winkeln. Dies ist vor allem der Instabilität der Drehsensoren geschuldet, da seine Achsenverbindung (Vgl. Abb. 5, Nr. 1) ein relativ großes Spiel hat und zusätzlich eine erhöhte Hebelwirkung bei größeren Winkeln auftritt.



Abb. 5: Drehsensor, 1: Achsenverbindung



Abb. 6: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Temperatur- (blau) und Druckerhöhung bei der isochoren Zustandsänderung, relevante Messpunkte bei den konstanten Bereichen der Kurvenverläufe (Gleichgewichtszustände)

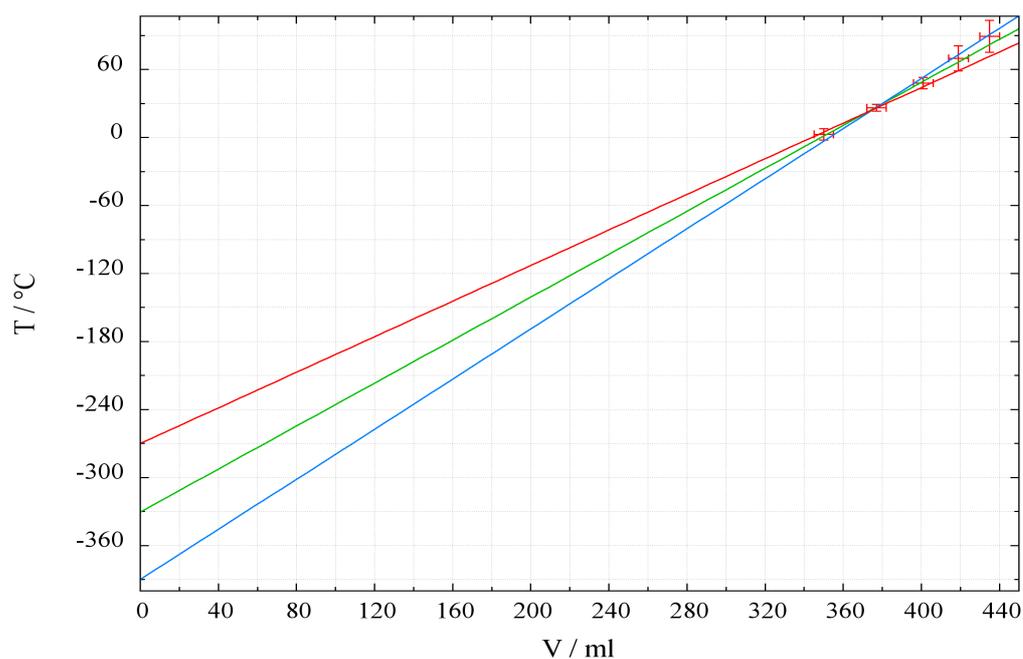


Abb. 7: Ermittlung des absoluten Temperaturnullpunkts bei der Isobaren Zustandsänderung. Grün: Ausgleichsgerade, Blau und Rot: Fehlergeraden, ermittelter absoluter Temperaturnullpunkt: - 330(60)°C

4.2 Versuche zum idealen Gasgesetz

4.2.1 Isochore Zustandsänderung

Bei diesem Versuch wurde bei gleichbleibendem Volumen eines Dreihalsrundkolbens (320 ml) dessen Temperatur schrittweise erhöht. Durch das Auftragen der dabei gemessenen Drücke gegen die Temperaturen konnte die erwartete Gerade erarbeitet und durch Extrapolation dieser bis zum Schnittpunkt mit der Temperaturachse der absolute Temperaturnullpunkt innerhalb der Unsicherheitsgrenzen bestimmt werden. Bei der Messung war es wichtig, das Einstellen der Gleichgewichtszustände abzuwarten. (Vgl. Abb. 6).

4.2.2 Isobare Zustandsänderung

Die Umsetzung dieses Versuchs war ähnlich zu der des Versuchs zur isochoren Zustandsänderung. Diesmal wurde der Druck konstant gehalten und wiederum die Temperatur schrittweise erhöht. Die Volumenänderung wurde direkt an einem Verdrängungskolben abgelesen. Auch musste bei der Erfassung der Volumen- und Temperaturwerte das Erreichen der Gleichgewichtszustände abgewartet werden (ähnlich zu Abb. 6). In Abb. 7 erkennt man, dass der theoretische Wert des absoluten Temperaturnullpunkts auch hier innerhalb der Unsicherheiten des experimentellen Wertes liegt. Die großen Unsicherheiten sind vor allem dem Aufbau, in welchem der Verdrängungskolben zur Volumenbestimmung nicht mittemperiert werden konnte, und der Inhomogenität der Temperaturverteilung innerhalb des großen Dreihalsrundkolbens geschuldet.

4.2.3 Isotherme Zustandsänderung

Als nächstes wurde ein Versuch zur isothermen Zustandsänderung umgesetzt. Hierbei wurde die allgemeine Gaskonstante experimentell bestimmt und durch die graphische Darstellung der Drücke gegen die reziproken Volumina die erwartete Gerade nachvollzogen.

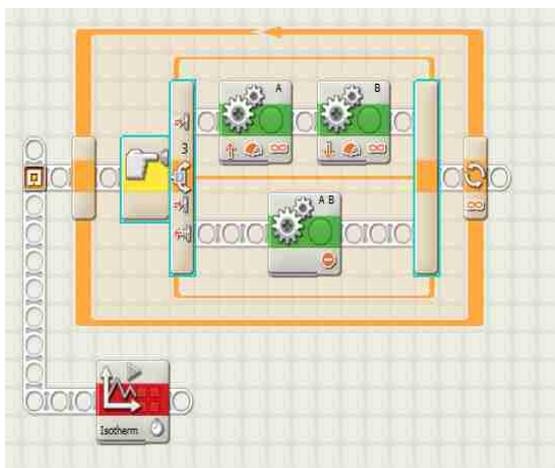


Abb. 8: Programmstruktur zum Versuch der isothermen Zustandsänderung

Der komplette Versuch fand bei Raumtemperatur statt. Durch das entwickelte Programm (vgl. Abb. 8) wurde die Volumenverdrängung durch den Roboter manuell über einen Drucksensor gesteuert. Somit konnte der Versuch halbautomatisiert erfolgen.

Die graphische Darstellung der erwarteten Gerade gelang problemlos. Die Bestimmung der allgemeinen Gaskonstante lieferte die richtige Größenordnung. Zwar lag der experimentelle Wert immer unterhalb des theoretischen, allerdings wich auch der schlechteste Wert nur um 7% vom Literaturwert ab.

5. Zusammenfassende Ergebnisse und Fazit

Insgesamt ergibt sich aus dieser Arbeit ein sehr inhomogenes Bild zur Eignung des Lego-Mindstorms-Systems für Projektversuche für Studenten des Lehramts Physik.

Ein großes Plus ist die spielerische Vermittlung von experimenteller Erfahrung durch dieses System. Es konnte in allen sieben Versuchen die erwartete Theorie qualitativ bestätigt werden. Die quantitative Aussagekraft ist von der Komplexität der Aufbauten abhängig. Bei einfachen Aufbauten gelingt dies sehr gut, wohingegen bei komplexen Aufbauten die Unsicherheit sehr groß bzw. eine quantitative Bestätigung der Theorie nicht mehr möglich wird. Ursächlich hierfür sind vor allem die Instabilität der Drehsensoren von NXT und die unerwarteten individuellen Offsets bei der Kombination von Verniersensoren mit dem NXT-System. Zudem sind die Skalierungs- und Analysemöglichkeiten der NXT 2.1 DATA LOGGING Software sehr limitiert. So ist nur ein linearer Fit durch die Messwerte möglich und bei der Skalierung der Achsen, kann man lediglich zwischen zwei Einstellungen wählen. Auch besteht eine Herausforderung darin die stattgefundenen Erkenntnisprozesse innerhalb eines oder zweier Praktikumstermine zu durchlaufen. Mit Hilfe eines experimentell erfahrenen Tutors scheint dies jedoch möglich.

Die Relevanz solcher Systeme für Studenten des Lehramts Physik ist für den späteren Unterrichtsalltag sehr hoch. Auch Schüler können mit diesen Materialien problemlos selbstständig experimentieren. Hierfür ist allerdings ein im Umgang mit solchen Systemen erfahrener Lehrer sehr wichtig.

Für das aktuelle System (EV3) sind wiederum neue, aber ähnliche Sensortypen vorhanden. Zudem wurde die DATA-LOGGING Software um zusätzliche Auswertungstools erweitert [9]. Daher gilt es, im Zuge weiterer Arbeiten die Eignung des neuen EV3 Systems für Projektversuche zu überprüfen und weitere Anwendungsbereiche des NXT-Systems in der Lehre für Studenten des Lehramts Physik zu erproben.

6. Literatur

- [1] Mindstorms Education, NXT Software v2.1 and User Guide with Datalogging, CD-ROM. The Lego Group, 2009-2010
- [2] <http://www.isb.bayern.de/download/9107/ph7.pdf> (Zugriff: 14.10.13; 10:00 Uhr)
- [3] <http://www.isb.bayern.de/download/9108/ph8.pdf> (Zugriff: 14.10.13; 10:00 Uhr)
- [4] http://aboutus.lego.com/en-us/lego-group/the_lego_history/2000 (Zugriff: 30.01.14; 14:31 Uhr)
- [5] <http://shop.legoeducation.com/de/product/lego-mindstorms-education-nxt-basis-set-9797-29/> (Zugriff: 18.02.14; 15:55 Uhr)
- [6] <http://shop.legoeducation.com/de/product/lego-mindstorms-education-nxt-ergaenzungsset-9695-35/> (Zugriff: 18.02.14; 15:55 Uhr)
- [7] <http://www.vernier.com> (Zugriff: 22.05.14, 10:16 Uhr)
- [8] K.Dransfeld, P.Kienle, G.M.Kalvius, Physik 1, Mechanik und Wärme, 9. überarbeitete Auflage, 2001 Oldenbourg Verlag München Wien, ISBN: 3-486-25416-2, S90f
- [9] <http://issuu.com/technik-lpe/docs/lego-katalog-2013> (Zugriff: 5.3.14; 13:41 Uhr)