



# teachers + scientists

Für Wissenschaft begeistern



## Kooperation Bielefeld

Schlagen, Reiben, Stampfen auf Knopfdruck – Die Innovation Waschmaschine im naturwissenschaftlichen Kontext



## TEACHERS + SCIENTISTS: FÜR WISSENSCHAFT BEGEISTERN

# Materialien und Konzepte für den MINT-Unterricht

## 28. Februar – 1. März 2013

Brainstorming zur Projektidee  
Berlin

## 13. – 14. Juni 2014

1. überregionales Projekttreffen  
Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin

## 23. – 24. Januar 2015

2. überregionales Projekttreffen  
Universität Bielefeld

## 25. – 26. September 2015

3. überregionales Projekttreffen  
Universitätsklinikum der RWTH Aachen

## 22. – 23. April 2016

4. überregionales Projekttreffen  
Hochschule Osnabrück

## 5. Mai 2017

Abschlusspräsentation  
Berlin

## 2017 – 2018

Lehrerfortbildungen und Teilnahme an Tagungen zur  
Verbreitung der Ergebnisse

## über die Jahre

individuelle Treffen und Projektpräsentationen der  
regionalen Kooperationen

Als im Sommer 2014 das Pilotprojekt Teachers + Scientists startete, war dies für alle beteiligten Lehrkräfte und Forschenden der Beginn einer neuen Art der Zusammenarbeit – so etwas gab es bisher noch nicht!

Auch wenn bereits einzelne Kontakte bestanden, hatten sich diese bislang auf die Förderung der Schülerinnen und Schüler konzentriert. Nun sollten erstmals Lehrkräfte vom intensiven dreijährigen Austausch mit Forschenden und von Einblicken in deren aktuelle Forschung profitieren.

Mit dem Ziel, die Gelingensfaktoren und Herausforderungen solcher Kooperationen in einem Leitfaden und die Ergebnisse der gemeinsamen Zusammenarbeit in Form von Unterrichtskonzepten zu veröffentlichen, nahmen die fünf regionalen Kooperationen in Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg und Osnabrück ihre Arbeit auf.

Was den Prozess auszeichnete, war die individuelle Umsetzung: von der theoretischen Ausarbeitung über mehrtägige Laborpraktika bis zum Langzeitexperiment. Die Resultate sind demzufolge unterschiedlich aufbereitet und spiegeln die verschiedenen regionalen Kooperationsformen wider.

Die nachfolgenden Materialien sollen Ihnen nun Anregungen für den eigenen Unterricht geben und Sie ermutigen, den Kontakt zu Forschenden zu suchen. Dadurch lassen sich aktuelle wissenschaftliche Inhalte in der Schule aufgreifen, die wiederum Schülerinnen und Schüler für das Forschen begeistern!

Sollten Sie Fragen haben, melden Sie sich über [info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de) bei Science on Stage Deutschland e. V. Wir stellen gerne den direkten Kontakt zu den teilnehmenden Forschenden und Lehrkräften her. Die jeweiligen Kontaktdaten finden Sie auch am Ende jeder Einheit.

Viel Freude und Inspiration für Ihre eigene Arbeit wünschen Ihnen Science on Stage Deutschland e. V. und die Stiftung Jugend forscht e. V.!

# Teachers + Scientists: Auf einen Blick

## 10

### Schulen

Einhard-Gymnasium Aachen, Andreas-Gymnasium Berlin, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin, Georg-Büchner-Gymnasium Berlin, OSZ Gesundheit I Berlin, Ursulaschule Osnabrück, Widukind-Gymnasium Enger, Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, HBLA Ursprung/Österreich

## 6

### Hochschulen/Forschungseinrichtungen

Universität Bielefeld, Hochschule Bielefeld, Hochschule Osnabrück, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin, Universitätsklinikum der RWTH Aachen

## 7

### regionale Kooperationen

1× Aachen, 1× Berlin, 3× Bielefeld, 1× Heidelberg, 1× Osnabrück

## 14

### Lehrkräfte

## 4

### Bundesländer

Baden-Württemberg, Berlin, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen

## 5

### Städte

Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg, Osnabrück

## 12

### Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

### Projekthalt und Gewinn (2014–2017)

- Förderung langfristiger Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Lehrkräfte stehen im Mittelpunkt, sind an aktueller Forschung beteiligt und können somit Inhalte für ihren Unterricht ableiten
- Ziel: Förderung der Unterrichtsqualität, damit sich mehr junge Menschen für MINT-Fächer begeistern

### Verbreitung

- Bundesweite Lehrerfortbildungen
- Präsentationen auf Fachkonferenzen
- Fortsetzung der Kooperationen nach Projektende

### Ergebnisse

- Leitfaden zum Aufbau von Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Unterrichtsmaterial zu den Themen: Humangenetik, Krebsforschung, Experimentelle Ökologie und Ökosystembiologie, Elementarteilchenphysik, Epidemiologische Studien, Objektorientierte Programmierung, Mechanik und Sensorik



# Kooperation Bielefeld



## STECKBRIEF

### → Schulen:

Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, Widukind-Gymnasium Enger



### → Lehrkräfte:

Kirsten Biedermann, Thomas Sawatzky, Melanie Wittland

### → Forschungseinrichtungen:

Lehrstuhl für Experimentelle Ökologie & Ökosystembiologie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld; AG Astroteilchen und Kosmologie, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld; Fachhochschule Bielefeld



### → Forschende:

Josef Avenwedde, Prof. Dr. Dominik Schwarz, Dr. Tom Steinlein

### → Themen:

Mykorrhiza, Elementarteilchenphysik, physikalische Aspekte einer Waschmaschine

### → Involvierte Unterrichtsfächer:

Biologie, Mathematik, Physik, Technik

## INTERVIEW

### → Teachers + Scientists ist für uns ...

... inspirierend und motivierend für den eigenen Unterricht.

... herausfordernd, hochkomplexe wissenschaftliche Themen schülerverständlich aufzubereiten.

... gemeinsam als Team aus Forschenden und Lehrkräften schülerrelevante Themen zu bearbeiten.

### → Wir machen bei Teachers + Scientists mit, weil ...

... es eine willkommene Abwechslung und Bereicherung zum Berufsalltag ist und wir neue Impulse für die eigene Arbeit bekommen.

### → Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?

Ein fachliches Update jenseits von Lehrerfortbildung und Literaturstudium in tollem Rahmen (gilt sowohl für die Lehrkräfte als auch die Forschenden).

### → Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende? Wenn ja, was haben Sie konkret vor?

Die Erfahrungen haben uns ermutigt, weiter nach solchen Kooperationen zu suchen.

# Schlagen, Reiben, Stampfen auf Knopfdruck – Die Innovation Waschmaschine im naturwissen- schaftlichen Kontext

Josef Avenwedde · Kirsten Biedermann



**SCHLAGWÖRTER:** E-Lehre, Energieeffizienz, Experiment, Induktion, Industrie 4.0, Ingenieurwissenschaften, Innovation, Internet der Dinge, Lichtleiter, Mechanik, Modellieren, Optik, Resonanzfrequenz, Schleudern, Sensoren, Smart Home, Steuerung, Technikgeschichte, Unwucht, Wärmelehre, Waschen

**UNTERRICHTSFÄCHER:** Physik, Technik, Mathematik, Informatik, Kunst, optional Chemie

**ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:**  
Klasse 7–10, Einführungsphase

**ERFORDERLICHE VORKENNTNISSE:** Dimensionsanalyse, Drehmoment, Druck, elektrische Induktion, Energieerhaltungssatz, gleichförmige Kreisbewegung, Kraftübertragung, Mechanik, Resonanz[frequenz], spezifische Wärmekapazität, Strahlenoptik, Termumformung [abhängig vom betrachteten Phänomen]

**SICHERHEITSHINWEISE:** Neben den üblichen Sicherheitsmaßnahmen ist bei den Experimenten zur Kreisbewegung sicherzustellen, dass im Gefahrenbereich, d. h. senkrecht zur Rotationsachse, weder Menschen verletzt noch Gegenstände beschädigt werden können. Sollte die Kreisbewegung mit einem Stroboskop analysiert werden, so ist zu beachten, dass die Lichtblitze unter Umständen epileptische Anfälle auslösen können.

## 1 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Der Unterrichtsvorschlag ist insbesondere für ein Projekt am Ende der Sekundarstufe I oder der Einführungsphase der Sekundarstufe II geeignet, um einen motivierenden Ein- und Ausblick über Inhalte und berufliche Perspektiven eines MINT-Schwerpunktes zu geben.

Am Beispiel der Mechanik und Steuerung einer Waschmaschine wird aufgezeigt, welche Bedeutung die Ingenieurwissenschaften für unser alltägliches Leben haben, wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dafür auf naturwissenschaftliche Erkenntnisse zurückgreifen und klassischer Schulstoff aus der Physik auch heute noch von unmittelbarer Bedeutung für technische Innovationen ist. Jüngste Entwicklungen im Rahmen von *Smart Home* und *Internet der Dinge (Internet of Things)* fließen ein und motivieren zusätzlich zur Wahl eines MINT-Schwerpunktes für die weitere Schullaufbahn.

Die Schülerinnen und Schüler erfahren durch praktische Übungen bzw. eigene Experimente, wie beschwerlich das Waschen früher war und entdecken anhand von Fotos historische Waschmaschinen, Innovationen und Optimierungsbedarfe, um so den Prozess der kontinuierlichen ingenieurwissenschaftlichen Produktentwicklung kennenzulernen. Anschließend analysieren sie den aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung an einer modernen Waschmaschine, u. a. unter Einbeziehung des mathematischen Modells, und betrachten aktuelle Tendenzen der Innovation im Rahmen von Industrie 4.0.

Das Thema eignet sich in besonderem Maße getrennt gelehrt Inhalte aus den Bereichen Mechanik, Optik und E-Lehre zu wiederholen und zusammenzuführen.

Zur optionalen Einbeziehung der Chemie des Waschens wird auf die externen Quellen <sup>[1]</sup><sup>[2]</sup> verwiesen.

## 2 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

Sämtliches Zusatzmaterial, wie z. B. Arbeitsblätter, steht auf der Webseite von Science on Stage zum Download bereit.<sup>[3]</sup>

**Sequenz 1:** Analysiert entweder das ägyptische Wandgemälde<sup>[4]</sup> oder die Wäscherinnen von Camille Pissarro<sup>[5]</sup> und ermittelt, wie früher gewaschen wurde. Überprüft die mechanischen Verfahren in einem Experiment, das ihr selbst plant und durchführt. Beschreibt die Beobachtungen und Erfahrungen. Welche mechanischen Einwirkungen sind sinnvoll und notwendig? [Zusatzmaterial  1 und  2<sup>[3]</sup>]

**Sequenz 2:** Im Jahr 1767 gab es bereits einen Entwurf für eine Waschmaschine, jedoch ist unklar, ob diese jemals gebaut wurde. Betrachte den auf diesem Entwurf basierenden Nachbau der Regensburger Waschmaschine (Abb. 1). Welche mechanischen Einwirkungen auf die Wäsche sind damit möglich? Welche Vor- und Nachteile sind zu erkennen?



ABB. 1 Regensburger Waschmaschine von 1767 (originalgetreuer Nachbau)

Um 1900 wurde in Deutschland die erste Waschmaschine erfunden. Die weitere Entwicklung dokumentieren die vorgelegten Fotos. Sortiere die Fotos nach Innovationsschritten. Erstelle für die gefundenen Innovationsschritte eine Tabelle mit den jeweiligen Neuerungen. Gehe dabei auch auf aktuelle Innovationstendenzen ein. Recherchiere dafür auf den Webseiten verschiedener Waschmaschinenhersteller. (Sämtliche Fotos stehen als Zusatzmaterial zur Verfügung.<sup>[3]</sup>)

**Sequenz 3:** Seit Mitte der 1970er Jahre werden Waschmaschinen von Mikrocomputern gesteuert. Welche Größen müsste eine vollautomatische Waschmaschine erfassen und regeln können? Mit welchen Sensoren wäre das möglich? Alternativ können auch ausgewählte Sensoren vorgestellt werden, deren Einsatzbereich dann ermittelt werden muss. Warum wurde der Drehwahlschalter mit Schleifkontakt durch einen optischen ersetzt? Wie funktioniert der optische Drehwahlschalter?

**Sequenz 4:** Beschreibe den Unterschied zwischen Waschen und Schleudern. Wie schnell darf sich die Trommel im Waschgang drehen, wie schnell muss sie im Schleudergang sein? Modelliere und berechne zunächst und überprüfe dies anschließend in einem selbst geplanten Experiment.

Die Resonanzfrequenz der Waschmaschine liegt zwischen Wasch- und Schleudersfrequenz. Welche besondere Aufgabe ergibt sich daraus für die Ingenieurinnen und Ingenieure? Wie

könnten sie diese lösen? Überprüfe deinen Lösungsvorschlag ebenfalls in einem eigenständig geplanten Versuch.

Reflektiere und diskutiere abschließend was aus deinen Beobachtungen für den Beruf einer Entwicklungsingenieurin bzw. eines -ingenieurs folgt.

Recherchiere über „Die Waschmaschine der Zukunft“<sup>[6–10]</sup>, bewerte die Quellen und stelle die Visionen auf einem Plakat dar. Diskutiere die zukünftigen Entwicklungsziele im Hinblick auf empfehlenswerte Bachelor- und Masterstudiengänge für zukünftige Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure.

### 3 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Historische Wandbilder<sup>[4]</sup> aus dem alten Ägypten und Gemälde wie die Waschfrauen von Camille Pissarro<sup>[5]</sup> dokumentieren, wie auch noch im 19. Jahrhundert mit großem körperlichem Einsatz gewaschen wurde. Bis Ende des Jahrhunderts war es Aufgabe der meisten Frauen die Wäsche einzuweichen, Flecken auszubürsten und auf dem Waschbrett auszureiben. Abhängig von der Haushaltsgröße konnte große Wäsche mehrere Tage dauern. Hier sollten die Waschmaschinen für wesentliche Erleichterung sorgen.

#### Die Innovationsschritte der Waschmaschine

Obwohl es schon im Jahr 1767 einen Entwurf für eine Waschmaschine gab, ist unklar, ob diese jemals gebaut wurde (Abb. 2). Gesichert ist indes, dass im Rahmen eines ersten Innovationsschritts eine Buttermaschine Inspiration für die erste Waschmaschine im Jahr 1900 war. Die Innenseite des Holzbottichs ist wellig wie die Oberfläche eines Waschbretts. Weitere Optimierungen konzentrierten sich darauf, durch mechanische Hilfen wie Schwungpendel und einfache Getriebe, das Bewegen der Wäsche zu erleichtern.

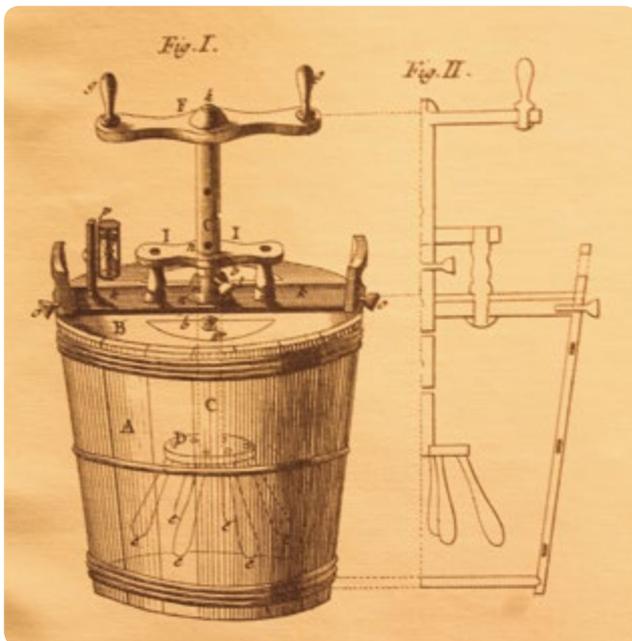


ABB. 2 Zeichnung 1767

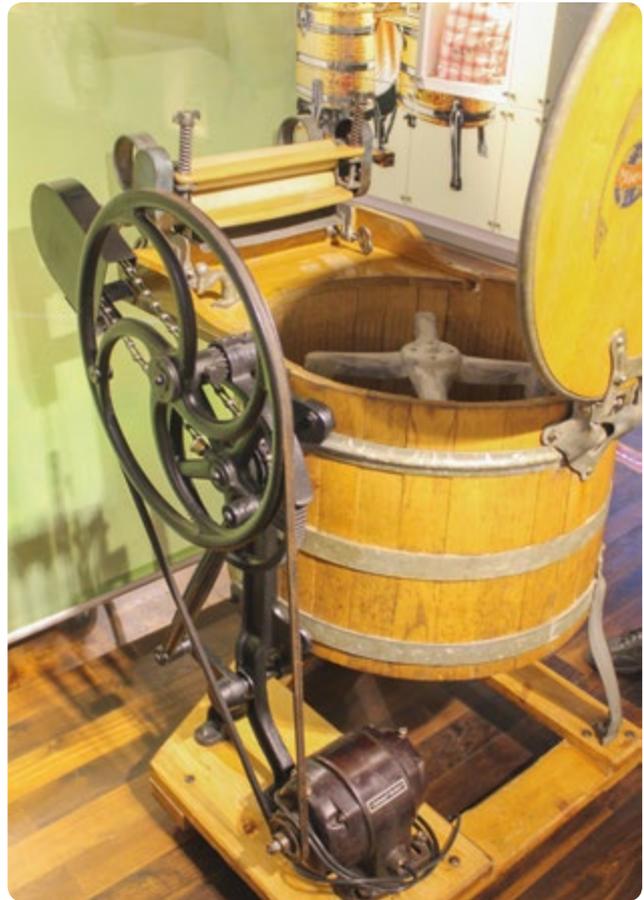


ABB. 3 E-Motor mit Transmission

In einem zweiten Innovationsschritt erfolgte ab 1910 die Motorisierung durch Transmission, Elektro- und Wassermotor (Abb. 3).

Im dritten Innovationsschritt folgte um 1930 der Schritt zum Metallbottich und zur Heizung, sodass nicht mehr mühsam extern erhitztes Wasser eingefüllt werden musste. Unter anderem gab es dafür neben der Elektro- auch Gas- und Kohleheizungen.

Die vierte Innovation brachte ab etwa 1950 die Trommelwaschmaschine. Hier galt es, jene Drehzahl für die Trommel zu finden und sicherzustellen, die zu einem optimalen Waschergebnis führt und leicht berechnet werden kann.

In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre wurde im Rahmen des fünften Innovationsschritts die elektronische Steuerung mit Mikrocomputer und Sensor-Elektronik eingeführt (Abb. 4).

In einem sechsten Innovationsschritt erfolgt nun die Vernetzung der Waschmaschine zum *Smart Home* und mit dem Internet, inklusive der Zugangs- und Datensicherheit. Im Rahmen von Industrie 4.0 kann so z. B. die Waschzeit mit der hauseigenen Solaranlage oder einem besonders günstigen Strompreis, z. B. Nachtstrom, abgestimmt werden. Der Aspekt der Umweltfreundlichkeit und damit auch der Energieeffizienz gewinnt immer stärkere Bedeutung, sei es die Lärmbelastung oder der Wasser-



ABB. 4 Elektronische Steuerung

und Stromverbrauch. Neueste Entwicklungen erzielen bemerkenswerte Einsparungen durch den Betrieb mit weniger Wasser, was unmittelbar auch weniger Energie für das Heizen des Wassers zur Folge hat. Ein anderer Ansatz greift auf vorhandenes Warmwasser zurück, das beispielsweise durch eine Thermo-Solaranlage bereitgestellt wird. Aktuellste Innovationen sollten stets recherchiert werden, was über die Portale der Hersteller möglich ist.

Besondere Probleme, die moderne Waschmaschinen zuverlässig lösen, sind u. a. das sichere Durchfahren der Resonanzfrequenz, da die Schleuderfrequenz höher als die Resonanzfrequenz ist sowie die automatische Erkennung und die Behandlung einer Unwucht beim Schleudern durch ungünstige Wäscheverteilung in der Trommel. Hierfür wird die Unwucht über elektrische Induktion in einem Sensorgenerator auf der Motorachse erfasst. Ist diese zu groß wird kurz abgeschaltet und erneut gestartet. Bleibt die Unwucht trotz mehrerer Neustarts erhalten, schaltet sich die Maschine automatisch ab.

### Lösungsvorschläge zu den Arbeitsaufträgen

Lösungsvorschläge für Sequenz 1 sind online<sup>[3]</sup> zu finden. Für das Experiment sollten in einer Box geeignete Materialien, u. a. saubere Lappen, bereitgehalten werden. Als Impuls kann die Box – und falls vorhanden ein Waschbrett – auch schon für die Planung des Experiments zur Verfügung gestellt werden.

Für Sequenz 2 ergibt sich die Lösung aus den beschriebenen Innovationsschritten. Als Hilfe kann eine Tabelle mit den Innovationsschritten gestellt werden, sodass die Schülerinnen und Schüler diese Schritte anhand der Fotos<sup>[3]</sup> nur noch genauer beschreiben müssen.

Für Sequenz 3 werden die Sensoren auf der Basis der Zusatzmaterialien [3a–e]<sup>[3]</sup> erarbeitet und besprochen. Der optische Drehwahlschalter ist im Gegensatz zum Schleifkontakt verschleißfrei und somit weniger störanfällig.

In der abschließenden Sequenz 4 sollten zunächst die notwendigen Voraussetzungen für das geforderte Modellieren wiederholt werden (Kreisbewegung, Energieerhaltung). Einen Lösungsvorschlag finden Sie online ([4]<sup>[3]</sup>). Die experimentelle

Überprüfung könnte z. B. durch ein Freihandexperiment erfolgen, indem man mit dem Arm einen Eimer oder eine Salatschleuder so beschleunigt, dass er lotrechte Kreise beschreibt und dann die Umlaufzeit  $T$  misst, deren Kehrwert die gesuchte Frequenz bzw. Drehzahl ist. Das Resonanzproblem kann anhand eines weiteren Freihandexperimentes<sup>[11]</sup> erklärt und von den Schülerinnen und Schülern eigenaktiv erfahren werden. Über Videoaufnahmen in Zeitlupe ist es möglich, Werte einer realen Waschmaschine zu ermitteln.

Die abschließende Diskussion sollte zu der Erkenntnis führen, dass in der Entwicklungsabteilung Fachkräfte mit Expertise in mehreren MINT-Fächern benötigt werden, die Freude daran haben, sich lebenslang fortzubilden, um stets neueste Trends und Entdeckungen aufzugreifen und umzusetzen.

## 4 | Fazit und Ausblick

Für die Schülerinnen und Schüler waren die Einblicke in die Entwicklungs- und Forschungsarbeit eines Waschmaschinenherstellers im Umfeld der Schule hoch motivierend, hatten sie doch mehrfachen Bezug zur eigenen Lebenswelt. Dafür mussten jedoch Hürden genommen und Grenzen respektiert werden, die sich aus dem Patentrecht und dem Schutz von Betriebsgeheimnissen ergeben und daher branchenspezifisch den Zugang zu allerneuesten Erfindungen teilweise beeinträchtigen.

Der Ansatz über die historische Entwicklung bis zum heutigen Stand von Forschung und Technik hat sich hier als geeignet erwiesen, da so ein umfassendes Verständnis für betriebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit aufgebaut wird und umfangreiche fächerverbindende Bezüge zu schulischen Lehr- und Lerninhalten aufgegriffen werden. Die Schülerinnen und Schüler werden dafür sensibilisiert, dass sich Entwicklungsschwerpunkte verändern und von erfolgreichen Entwicklerinnen und Entwicklern lebenslanges Lernen erfordern, was im Hinblick auf die Berufswahl beachtet werden sollte.

Auf der Basis der bisherigen Erfahrungen soll die Unterrichtseinheit optimiert werden, z. B. durch einen Besuch im Waschmaschinen-Museum mit Kurzreferaten, die die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen vorbereitet haben. Anschließend könnten die neuesten Produkte von Mitarbeiterinnen und Mit-

arbeitern der Firma vorgestellt und Fragen beantwortet werden. Ferner gilt es, die Medien für die Vorbereitung der Exkursion ins Firmenmuseum weiter aufzubereiten.

Im Rahmen der Weiterentwicklung dieses Ansatzes wurde schon geprüft, welche weiteren Betriebe aus dem Umfeld der Schule sich dafür eignen. Erste Kontakte deuten darauf hin, dass im Bereich der Chemie die Hürden bzgl. der Geheimhaltung weniger hoch liegen. Allerdings können sich aufgrund von Gefahrstoffen und Gesundheitsschutz erschwerte experimentelle Zugänge ergeben. Als großer Vorteil zeichnet sich indes ab, dass von den Firmen das Material für die Experimente kostenfrei zur Verfügung gestellt werden kann. Vor einer endgültigen Entscheidung über weitere Firmen sollten die Interessen der Schülerinnen und Schüler einbezogen werden. Ziel ist es, weitere MINT-Fächer (z. B. Chemie und Informatik) stärker einzubeziehen. Durch die Einbindung von Fremdsprachen, z. B. über fremdsprachige Internetseiten, kann nicht nur eine erweiterte MINT-Sprachkompetenz aufgebaut und gefördert, sondern auch auf die kommunikativen Herausforderungen des globalen Marktes vorbereitet werden.

## Quellen

- [1] [www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Geschichte2.htm](http://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Geschichte2.htm) [abgerufen am 12.03.2017]
- [2] [www.masche24.de/tex\\_weste\\_waschen-inhalt.htm](http://www.masche24.de/tex_weste_waschen-inhalt.htm) [abgerufen am 12.03.2017]
- [3] Alle Zusatzmaterialien finden Sie zum Download unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).
- [4] [www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm](http://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm) [abgerufen am 12.03.2017]
- [5] <https://www.wikiart.org/en/camille-pissarro/laundry-women-eragny-sur-eptes-1895> [abgerufen am 12.03.2017]
- [6] [http://www.nw.de/lokal/kreis\\_guetersloh/guetersloh/guetersloh/21713387\\_Die-Waschmaschine-der-Zukunft.html](http://www.nw.de/lokal/kreis_guetersloh/guetersloh/guetersloh/21713387_Die-Waschmaschine-der-Zukunft.html) [abgerufen am 12.03.2017]
- [7] <http://www.morgenpost.de/wirtschaft/article207985297/Was-die-Waschmaschine-der-Zukunft-alles-koennen-wird.html> [abgerufen am 12.03.2017]
- [8] <http://www.spiegel.de/karriere/ingenieure-entwickeln-waschmaschinen-fuer-die-zukunft-a-927797.html> [abgerufen am 12.03.2017]
- [9] <https://www.welt.de/wissenschaft/article119094038/Die-Waschmaschine-der-Zukunft-waescht-ohne-Wasser.html> [abgerufen am 12.03.2017]
- [10] <http://www.trendsderzukunft.de/orbit-waschmaschine-die-erste-waschmaschine-ohne-wasser/2012/02/17/> [abgerufen am 12.03.2017]
- [11] <http://www.leifiphysik.de/mechanik/kopplung-von-schwingungen/versuche/heimversuch-zur-resonanz> [abgerufen am 12.03.2017]

## Kontakt

→ **Kirsten Biedermann**

biedermann@widukindgymnasium.de,  
ravensberger.erfinderwerkstatt@gmail.com

# Waschen im alten Ägypten

Ein altes ägyptisches Wandgemälde zeigt, wie Sklaven Wäsche reinigen.

[A] Versuche herauszufinden, was die einzelnen Personen auf dem Bild unter diesem Link (<https://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm>) machen und warum:

| Person | Vermutete Tätigkeit | Grund |
|--------|---------------------|-------|
| 1      |                     |       |
| 2/3    |                     |       |
| 4/7    |                     |       |
| 5/6    |                     |       |
| 8/9    |                     |       |
| 10     |                     |       |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: (Planung, Durchführung, Auswertung)

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode |  |
| Material     |  |
| Durchführung |  |
| Beobachtung  |  |
| Ergebnis     |  |

[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode |  |
| Waschmethode |  |
| Waschmethode |  |
| Waschmethode |  |



**Lösungsvorschlag:** Waschen im alten Ägypten

Ein altes ägyptisches Wandgemälde zeigt, wie Sklaven die Wäsche reinigen.

[A] Versuche herauszufinden, was die einzelnen Personen auf dem Bild unter diesem Link (<https://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm>) machen und warum:

| Person | vermutete Tätigkeit     | Grund   |
|--------|-------------------------|---|
| 1      | Aufpassen               | Kontrolle der Sklaven                               |
| 2/3    | Wringen                 | ( Schmutz mit dem ) Wasser aus der Wäsche entfernen |
| 4/7    | Wässern / Spülen        | Wasche nass machen, Schmutz ausspülen               |
| 5/6    | Schlagen                | Schmutz aus dem Gewebe lösen                        |
| 8/9    | Strick halten           | Öffnen / Schließen des Wäschesacks mit dem Strick   |
| 10     | Sack öffnen / schließen | schmutzige Wäsche bringen, saubere abholen          |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: ( Planung, Durchführung, Auswertung )

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode | z.B. Schlagen der Wäsche   |
| Material     | 3mal 40x40 cm Stoff aus einem alten Bettlaken, Knüppel, Erde als Dreck, Wasser   |
| Durchführung | Ich mache die drei Stoffstücke mit der Erde gleichmäßig dreckig.                 |
|              | Ich mache die Stück nass, anschließend schlage ich mit dem Knüppel auf die       |
|              | die Wäsche und spüle danach mit Wasser. Ich wiederhole den Vorgang dreimal.      |
|              | Ein weiteres Wäschestück spüle ich nur dreimal und eines behandle ich gar nicht. |
| Beobachtung  | Beim Spülen und durch das Schlagen wird Schmutz entfernt. Durch das dreima-      |
|              | lige Schlagen wird die Wäsche sauberer als beim dreifachen Spülen.               |
| Ergebnis     | Das Schlagen der Wäsche ist eine sinnvolle Reinigungsmethode.                    |

[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| Waschmethode | z.B. Wringen der Wäsche  |
| Waschmethode | z.B. Reiben der Wäsche   |
| Waschmethode | z.B. Stampfen der Wäsche |

[D] Beschreibe welche mechanischen Einwirkungen für gutes Waschen erforderlich sind.

Um Wäsche gut zu reinigen, muss diese zunächst nass gemacht werden. Anschließend muss durch mechanische Verfahren wie Schlagen, Reiben und Stampfen der Schmutz von und aus den Fasern gelöst werden. Der gelöste Schmutz kann dann durch Spülen und Auswringen mit dem Wasser entfernt werden. Dieser Vorgang muss mehrfach wiederholt werden.

# Waschen vor 100 Jahren

Analyse des Gemäldes „Die Waschfrauen“ des impressionistischen Malers Pierre Auguste Renoir

[A] Versuche herauszufinden, was die beiden Personen (1: links, 2: rechts) am Fluss auf dem Bild unter diesem Link (<http://www.kunstbilder-galerie.de/kunstdrucke/pierre-auguste-renoir-bild-792716.html>) warum machen:

| Person | Vermutete Tätigkeit | Grund |
|--------|---------------------|-------|
| 1      |                     |       |
| 2      |                     |       |
|        |                     |       |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: (Planung, Durchführung, Auswertung)

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode |  |
| Material     |  |
| Durchführung |  |
|              |  |
| Beobachtung  |  |
|              |  |
| Ergebnis     |  |

[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

[D] Beschreibe welche mechanischen Einwirkungen für gutes Waschen erforderlich sind.

## Lösungsvorschlag: Waschen vor 100 Jahren

Das Gemälde „Die Waschfrauen“ des impressionistischen Malers Pierre Auguste Renoir, zeigt wie vor rund 100 Jahren die Wäsche gereinigt wurde.

[A] Versuche herauszufinden, was die beiden Personen (1: links, 2: rechts) am Fluss auf dem Bild unter diesem Link (<http://www.kunstbilder-galerie.de/kunstdrucke/pierre-auguste-renoir-bild-792716.html>) warum machen:

| Person | vermutete Tätigkeit | Grund                         |
|--------|---------------------|-------------------------------|
| 1      | Spülen              | Dreck abspülen                |
| 2      | Pressen             | Dreck von den Fasern lösen    |
| 2      | auf Stein Reiben    | Dreck von den Fasern abreiben |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: (Planung, Durchführung, Auswertung)

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode | z.B. Schlagen der Wäsche   |
| Material     | 3mal 40x40 cm Stoff aus einem alten Bettlaken, Knüppel, Erde als Dreck, Wasser   |
| Durchführung | Ich mache die drei Stoffstücke mit der Erde gleichmäßig dreckig.   |
|              | Ich mache die Stück nass, anschließend schlage ich mit dem Knüppel auf die die Wäsche und spüle danach mit Wasser. Ich wiederhole den Vorgang dreimal. |
|              | Ein weiteres Wäschestück spüle ich nur dreimal und eines behandle ich gar nicht.   |
| Beobachtung  | Beim Spülen und durch dfas Schlagen wird Schmutz entfernt. Durch das dreimalige Schlagen wird die Wäsche sauberer als beim dreifachen Spülen.          |
|              |  |
| Ergebnis     | Das Schlagen der Wäsche ist eine sinnvolle Reinigungsmethode.  |

[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| Waschmethode | z.B. Wringen der Wäsche  |
| Waschmethode | z.B. Reiben der Wäsche   |
| Waschmethode | z.B. Stampfen der Wäsche |

[D] Beschreibe welche mechanischen Einwirkungen für gutes Waschen erforderlich sind.

Um Wäsche gut zu reinigen muss diese zunächst nass gemacht werden. Anschließend muss durch mechanische Verfahren wie Schlagen, Reiben und Stampfen der Schmutz aus und von den Fasern gelöst werden. Der gelöste Schmutz kann dann durch Spülen und Auswringen mit dem Wasser entfernt werden. Dieser Vorgang muss mehrfach wiederholt werden.

# Waschen vor 100 Jahren

Analyse des Gemäldes „Die Waschfrauen“ des impressionistischen Malers Camille Pissaro

Quelle: <https://www.wikiart.org/en/camille-pissarro/laundrying-women-eragny-sur-epetes-1895>



1      2      3

[A] Versuche herauszufinden, was die einzelnen Personen warum machen:

| Person | Vermutete Tätigkeit | Grund |
|--------|---------------------|-------|
| 1      |                     |       |
| 2      |                     |       |
| 3      |                     |       |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: ( Planung, Durchführung, Auswertung )

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode |  |
| Material     |  |
| Durchführung |  |
| Beobachtung  |  |
| Ergebnis     |  |

[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

[D] Beschreibe welche mechanischen Einwirkungen für gutes Waschen erforderlich sind.

# Waschen vor 100 Jahren

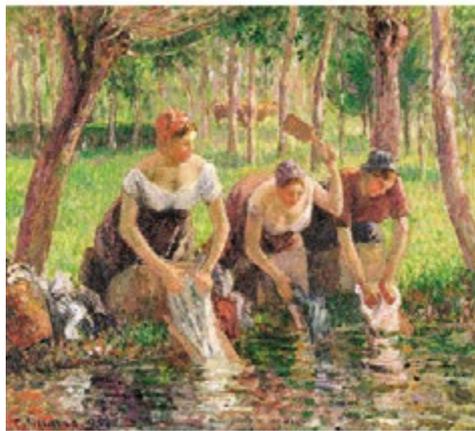
Analyse des Gemäldes „Die Waschfrauen“ des impressionistischen Malers Camille Pissaro

## Lösungsvorschlag:

### Waschen vor 100 Jahren

Das Gemälde „Die Waschfrauen“ des impressionistischen Malers Camille Pissaro zeigt, wie vor rund 100 Jahren die Wäsche gereinigt wurde.

Quelle: <https://www.wikiart.org/en/camille-pissarro/laundry-women-eragny-sur-epetes-1895>



1      2      3

[A] Versuche herauszufinden, was die einzelnen Personen warum machen:

| Person | vermutete Tätigkeit | Grund                         |
|--------|---------------------|-------------------------------|
| 1      | Spülen              | Dreck abspülen                |
| 2/3    | Schlagen            | Dreck von den Fasern lösen    |
| 4/7    | Reiben              | Dreck von den Fasern abreiben |

[B] Überprüfe Deine Vermutungen im Experiment: ( Planung, Durchführung, Auswertung )

|              |  |
|--------------|--|
| Waschmethode | z.B. Schlagen der Wäsche   |
| Material     | 3mal 40x40 cm Stoff aus einem alten Bettlaken, Knüppel, Erde als Dreck, Wasser |
| Durchführung | Ich mache die drei Stoffstücke mit der Erde gleichmäßig dreckig.               |
|              | Ich mache die Stück nass, anschließend schlage ich mit dem Knüppel auf die     |
|              | die Wäsche und spüle danach mit Wasser. Ich wiederhole den Vorgang dreimal.    |

|             |  |
|-------------|--|
|             | Ein weiteres Wäschestück spüle ich nur dreimal und eines behandle ich gar nicht.   |
| Beobachtung | Beim Spülen und durch das Schlagen wird Schmutz entfernt. Durch das dreimalige Schlagen wird die Wäsche sauberer als beim dreifachen Spülen. |
| Ergebnis    | Das Schlagen der Wäsche ist eine sinnvolle Reinigungsmethode.  |

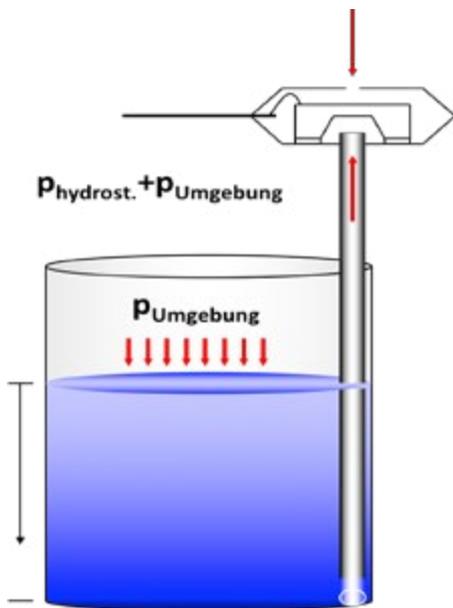
[C] Suche im Experiment nach weiteren geeigneten mechanischen Methoden.

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| Waschmethode | z.B. Wringen der Wäsche  |
| Waschmethode | z.B. Reiben der Wäsche   |
| Waschmethode | z.B. Stampfen der Wäsche |

[D] Beschreibe welche mechanischen Einwirkungen für gutes Waschen erforderlich sind.

Um Wäsche gut zu reinigen muss diese zunächst nass gemacht werden. Anschließend muss durch mechanische Verfahren wie Schlagen, Reiben und Stampfen der Schmutz aus und von den Fasern gelöst werden. Der gelöste Schmutz kann dann durch Spülen und Auswringen mit dem Wasser entfernt werden. Dieser Vorgang muss mehrfach wiederholt werden.

# Moderne Messung des Wasserstands in der Waschmaschine



**HydDruck:**

$$p_{\text{hydrost.}} = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$$

$\rho_{\text{Fl}}$ : Dichte der statischen Flüssigkeit

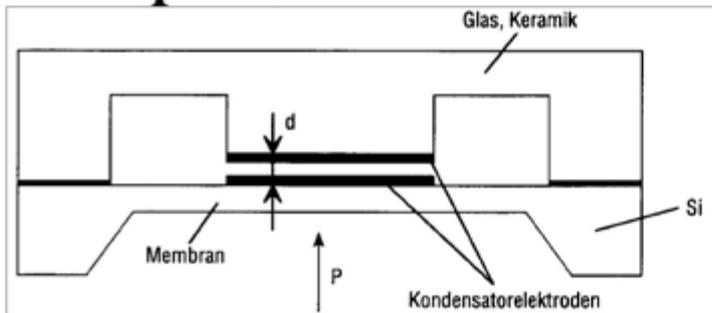
$g$ : Fallbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$h$ : Höhe der Flüssigkeitssäule

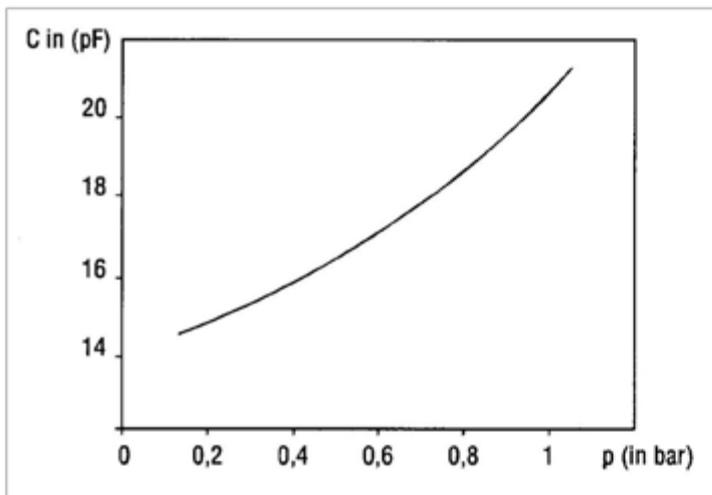
Dichte  $\rho_{\text{Fl}} = \text{konst.}$

$$\Rightarrow p_{\text{hydrost.}} \sim h$$

# Kapazitiver Drucksensor



Schematischer Aufbau eines kapazitiven (Absolut-) Drucksensors



Kennlinie eines kapazitiven Si-Absolut-drucksensors

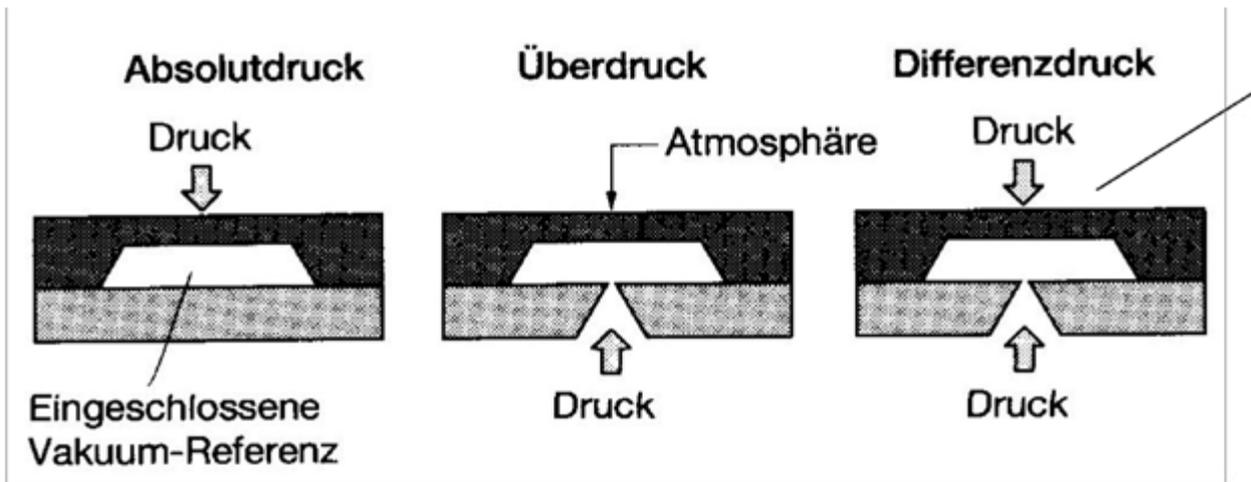
$$C(p) = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d(p)}$$

**A:** Elektrodenfläche

**d:** Plattenabstand

(d(p) ist nichtlinear !)

$\epsilon_0$ : Dielektrizitätskonstante

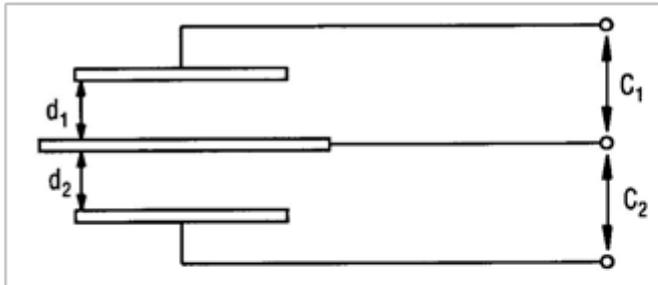


### Arten der Druckmessung

*Tipp: Für eine Recherche zur Funktionsweise von Drucksensoren kann man auch unter [www.google.de](http://www.google.de) eine Bildersuche nach „drucksensor funktionsweise“ durchführen und so schnell zahlreiche Informationen finden.*

# Moderne Messung der Beschleunigung in der Waschmaschine

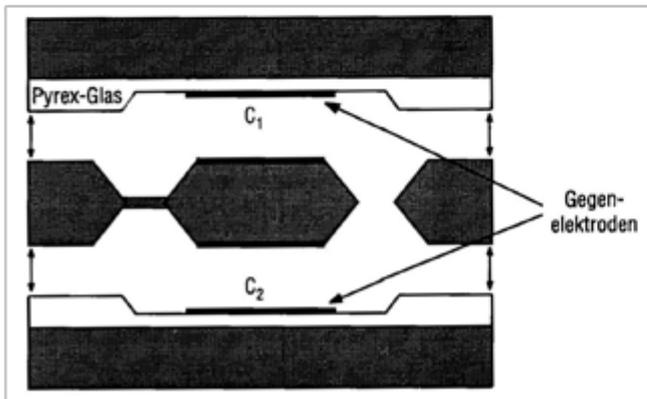
## Kapazitiver Beschleunigungssensor



Prinzip:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = 2 \cdot \epsilon \cdot A \cdot \frac{\Delta d}{d_0^2 - (\Delta d)^2}$$

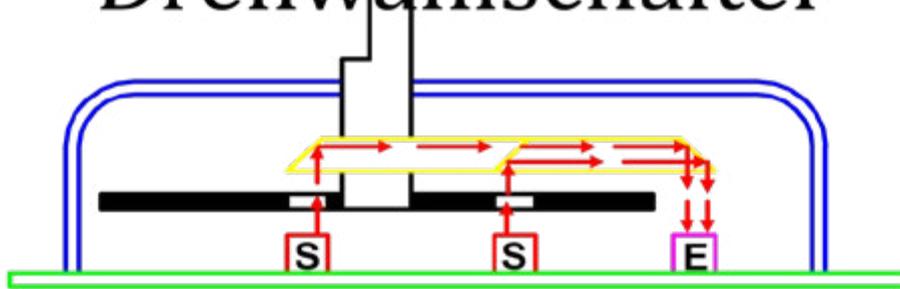
bzw.  $\frac{C_2 - C_1}{C_1 + C_2} = \frac{\Delta d}{d_0}$



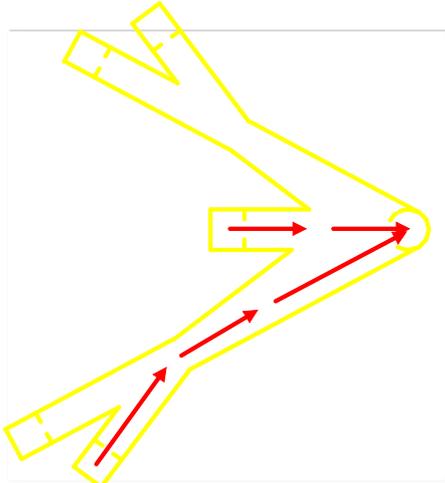
Schematischer Aufbau eines kapazitiven Beschleunigungssensors

# Steuerung der Waschmaschine mit optischem Drehwahlschalter

## Optischer Drehwahlschalter



Lichtleiter im Schnitt



Lichtleiter



Codierscheibe

# Maximale Drehzahl für die Waschgang (1)

Bestimmung über Kraft- und Energieansatz

Hier wird einmal mit dem Energieerhaltungssatz und einmal mit dem Kraftansatz die maximale Drehzahl  $n_{\max}$  für den Waschgang zu bestimmen.

[A] Überprüfe beiden Rechnungen und vergleiche die Ergebnisse.

[B] Warum weichen die Ergebnisse voneinander ab ?

[C] Wie muss die maximale Drehzahl für den Waschgang korrekt berechnet werden ?

## Energieansatz

- mit Energieerhaltungssatz -

Sei  $r$  der Radius der Trommel und  $v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$ , die Bahngeschwindigkeit der Kreisbewegung, mit  $n$ , der Drehzahl in  $s^{-1}$ .

Damit die Wäsche nicht außen an der Trommel kleben bleibt muss gelten:

$$E_{\text{kin}} < E_{\text{max}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 < m \cdot g \cdot 2 \cdot r$$

$$\frac{1}{2} \cdot v^2 < g \cdot 2 \cdot r$$

$$v^2 < 2 \cdot g \cdot 2 \cdot r$$

$$(2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{\max})^2 < 4 \cdot g \cdot r$$

$$4 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot n_{\max}^2 < 4 \cdot g \cdot r$$

$$4 \cdot \pi^2 \cdot n_{\max}^2 < 4 \cdot g / r$$

$$n_{\max}^2 < (4 \cdot g / r) / (4 \cdot \pi^2)$$

$$n_{\max}^2 < (g / r) / \pi^2$$

$$n_{\max} < \sqrt{(g / r) / \pi^2}$$

Dimensionsanalyse:

$$\sqrt{(m/s^2 / m)} = \sqrt{(1/s^2)} = s^{-1}$$

## Kraftansatz

- über die Zentripetalkraft -

Damit die Wäsche nicht an der Trommel kleben bleibt muss die Gewichtskraft ( $m \cdot g$ ) der Wäsche größer als die Zentripetalkraft ( $m \cdot v^2 / r$ ) sein:

Radius der Trommel:  $r$

und  $v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$ , mit  $n$ , der Drehzahl in  $s^{-1}$

$$F_z < F_g$$

$$m \cdot v^2 / r < m \cdot g$$

$$v^2 / r < g$$

$$v^2 < g \cdot r$$

$$v < \sqrt{g \cdot r}$$

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{\max} < \sqrt{g \cdot r}$$

$$n_{\max} < \sqrt{(g / r) / 2 \cdot \pi}$$

Dimensionsanalyse:

$$\sqrt{(m/s^2 / m)} = \sqrt{(1/s^2)} = s^{-1}$$

# Maximale Drehzahl für den Waschgang (1)

## Lösungsvorschläge: Bestimmung über Kraft- und Energieansatz

**[A] Überprüfe beiden Rechnungen und vergleiche die Ergebnisse.**

Die maximale Drehzahl ist nach Energieansatz doppelt so groß wie beim Kraftansatz. Das ist ein Widerspruch!

**[B] Warum weichen die Ergebnisse voneinander ab ?**

In der Waschmaschine wird der Wäsche bei konstanter Drehgeschwindigkeit der Trommel Energie zugeführt und in Lageenergie umgewandelt, die sich nach dem Lösen / Herunterfallen, Abrollen der Wäsche in Verformungsenergie für das Waschen selbst umwandelt. Die Wäsche hat, solange Sie sich an der Trommel befindet, im höchsten Punkt stets Lage- und Bewegungsenergie, d.h. der gewählte Ansatz ist unzutreffend, da er annimmt, dass die Wäsche im höchsten Punkt nur Lageenergie hat.

**[C] Wie muss die maximale Drehzahl für den Waschgang korrekt berechnet werden ?**

Der Kraftansatz ist der korrekte Ansatz.

# Maximale Drehzahl & Co für den Waschgang (2)

Bestimmung über Kraft- und Energieansatz

[A] Bestimme die maximale Drehzahl für den Waschgang.

[B] Welchen Umfang hat eine Wäschetrommel bei  $n_{\max} = 55 \text{ min}^{-1}$  für den Waschgang ?

[C] Welchen Radius hat eine Wäschetrommel bei  $n_{\max} = 55 \text{ min}^{-1}$  für den Waschgang ?

[D] Wie groß ist die minimale Umlaufzeit  $T$  für eine Drehung der Wäschetrommel im Waschgang ?

[E] Wie groß ist die maximale Bahngeschwindigkeit im Waschgang am Rand der Wäschetrommel ?

[F] Wie groß ist die maximale Winkelgeschwindigkeit im Waschgang ?

[G] Um wieviel Grad dreht sich die Wäschetrommel im Waschgang in einer Sekunde ?

# Maximale Drehzahl & Co für den Waschgang (2)

## Lösungsvorschläge: Drehzahl & Co für den Waschgang

[A] Bestimme die maximale Drehzahl für den Waschgang.

Für den Waschgang ist es wichtig, dass die Wäsche während des Drehens der Trommel immer wieder herunterfällt, dadurch aufschlägt, reibt und gestampft wird.

Dafür betrachten wir den Grenzfall, dass die Wäsche oben in der Trommel im Kräftegleichgewicht ist, d.h.:

$$F_z = F_r$$

$$m \cdot v_{\max}^2 / r = m \cdot g$$

( mit  $v_{\max}$  , der „Bahngeschwindigkeit oben“ )

$$v_{\max}^2 / r = g$$

$$v_{\max}^2 = r \cdot g$$

$$v_{\max} = \text{sqr}( r \cdot g )$$

( da  $n = v / U$  und  $U = 2 \pi \cdot r$  gilt  $n = v / 2 \pi \cdot r$  bzw.  $n \cdot 2 \pi \cdot r = v$  . Damit folgt )

$$n_{\max} \cdot 2 \pi \cdot r = \text{sqr}( r \cdot g )$$

$$n_{\max} = \text{sqr}( r \cdot g ) / 2 \pi \cdot r$$

$$n_{\max} = \text{sqr}( g / ( 4 \cdot \pi^2 \cdot r ) )$$

$$n_{\max} = \text{sqr}( g / r ) / 2 \pi$$

Wenn die Drehzahl  $n$  kleiner als  $n_{\max}$  ist, fällt die Wäsche herunter, schlägt auf, wird so gestampft und gerieben, d.h. mechanisch gewaschen.

[B] Welchen Umfang hat eine Wäschetrommel bei  $n_{\max} = 55 \text{ min}^{-1}$  für den Waschgang ?

In Aufgabe [A] hatten wir bereits gefunden, dass  $n_{\max} \cdot 2 \pi \cdot r = \text{sqr}( r \cdot g )$  gilt. Mit  $U = 2 \pi \cdot r$  folgt:

$$n_{\max} \cdot U = \text{sqr}( U \cdot g / 2 \pi )$$

$$n_{\max}^2 \cdot U^2 = U \cdot g / 2 \pi$$

$$U = g / ( n_{\max}^2 \cdot 2 \pi )$$

Vor dem Einsetzen müssen wir die Drehzahl  $n_{\max}$  von  $\text{min}^{-1}$  in  $\text{s}^{-1}$  umrechnen:

$$n_{\max} = 55 \text{ min}^{-1} = 55/60 \text{ s}^{-1} = 0,92 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Eingesetzt ergibt sich: } U = 9,81 \text{ m/s}^2 / ( 0,92^2 \text{ s}^{-2} \cdot 2 \pi ) = 1,86 \text{ m}$$

Der gesuchte Umfang der Wäschetrommel beträgt 1,86 m.

**[C] Welchen Radius hat eine Wäschetrommel bei  $n_{\max} = 55 \text{ min}^{-1}$  für den Waschgang ?**

In Aufgabe [A] hatten wir bereits gefunden, dass  $n = \sqrt{g/r} / 2\pi$  gilt. Daraus folgt:

$$n_{\max}^2 = (g/r) / (2\pi)^2$$

$$n_{\max}^2 = (g/r) / (2\pi)^2$$

$$n_{\max}^2 = g / (r \cdot 4\pi^2)$$

$$r = (g / n_{\max}^2 \cdot 4\pi^2)$$

Daraus folgt durch Einsetzen und Ausrechnen:

$$r = 9,81 \text{ m/s}^2 / (55 \text{ min}^{-1} \cdot 4\pi^2) = 9,81 \text{ m/s}^2 / (55/60 \text{ s}^{-1} \cdot 4\pi^2) = 0,296 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$$

Wir kontrollieren mit dem Ergebnis aus Aufgabe [B]. Wegen  $U = 2\pi \cdot r$  folgt:

$$r = U / 2\pi = 1,86 \text{ m} / 2\pi = 0,296 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$$

Der gesuchte Radius der Wäschetrommel beträgt 0,3 m.

**[D] Wie groß ist die minimale Umlaufzeit T für eine Drehung der Wäschetrommel im Waschgang ?**

Für die minimale Umlaufzeit  $T_{\min}$  gilt:  $T_{\min} = n_{\max}^{-1} = (55/60 \text{ s}^{-1})^{-1} = 60/55 \text{ s} = 1,09 \text{ s}$

Die gesuchte minimale Umlaufzeit ist 1,09 s groß.

**[E] Wie groß ist die maximale Bahngeschwindigkeit im Waschgang am Rand der Wäschetrommel ?**

$$v_{\max} = U / T_{\min} = 1,86 \text{ m} / 1,09 \text{ s} = 1,71 \text{ m/s} = 6,14 \text{ km/h}$$

Die gesuchte maximale Bahngeschwindigkeit im Waschgang beträgt 6,14 km/h.

**[F] Wie groß ist die maximale Winkelgeschwindigkeit im Waschgang ?**

$$\omega_{\max} = 2\pi / T = 2\pi \cdot n_{\max} = 2\pi \cdot 55/60 \text{ s}^{-1} = 5,76 \text{ s}^{-1}$$

Die maximale Winkelgeschwindigkeit, auch Rotations- oder Drehgeschwindigkeit genannt, beträgt im Bogenmaß

$$\omega_{\max} = 5,76 \text{ s}^{-1} .$$

**[G] Um wieviel Grad dreht sich die Wäschetrommel im Waschgang in einer Sekunde ?**

Für den gesuchten Winkel  $\beta$  gilt:  $\beta = 360^\circ / T \cdot t = 360^\circ \cdot n_{\max} \cdot t = 360^\circ \cdot 55/60 \text{ s}^{-1} \cdot 1 \text{ s} = 330^\circ$

Im Bogenmaß gemessen wäre das:  $\beta = 330^\circ \cdot 2\pi / 360^\circ = \omega_{\max} \cdot t = 5,76 \text{ s}^{-1} \cdot 1 \text{ s} = 5,76$

# Vergleich: Reale versus ideale Waschmaschine

Bei einer realen Waschmaschine wurden folgende Werte für dem Waschgang gemessen:

1. Drehzahl  $n_{\text{real}} = 55 \text{ min}^{-1} = 55/60 \text{ s}^{-1} = 0,92 \text{ s}^{-1}$
2. Umfang  $U_{\text{real}} = 1,53 \text{ m}$
3. Geschwindigkeit  $v_{\text{real}} = 1,4 \text{ m/s}$ .

Für die ideale Waschmaschine gilt:

1. Die maximale Bahngeschwindigkeit  $v_{\text{max}}$  am Trommelrand:  $v_{\text{max}} = \text{sqr} ( U \cdot g / 2 \pi )$
2. Maximale Drehzahl  $n_{\text{max}}$  im Waschgang:  $n_{\text{max}} = v_{\text{max}} / U$
3. Den Umfang bei gegebener maximaler Drehzahl  $n_{\text{max}}$ :  $U = g / ( n_{\text{max}}^2 \cdot 2 \pi )$

**[A] Vergleiche die gemessene Geschwindigkeit ( an Rand der Tommel ) der real Waschmaschine mit der der idealen Waschmaschine und erkläre den Unterschied.**

**[B] Aus welcher Höhe fällt die Wäsche in der realen Waschmaschine herunter bzw. rollt sie ab ?**

**[C] Vergleiche die gemessene Drehzahl der Wäschetrommel der real Waschmaschine mit der der idealen Waschmaschine und erkläre den Unterschied.**

**[D] Vergleiche den gemessenen Umfang der Wäschetrommel der real mit dem der idealen Waschmaschine, wenn Du die selbe Drehzahl annimmst, und erkläre den Unterschied.**

**[E] Im Gegensatz zur idealen Waschmaschine befindet sich bei der realen die Wäsche nicht nur ganz außen, direkt an der Trommel, sondern auch weiter innen. Welche Folgen hat das ?**

## Lösungsvorschläge: Vergleich - Reale versus ideale Waschmaschine

Bei einer realen Waschmaschine wurden folgende Werte für dem Waschgang gemessen:

- |                    |  |
|--------------------|--|
| 4. Drehzahl        | $n_{\text{real}} = 55 \text{ min}^{-1} = 55/60 \text{ s}^{-1} = 0,92 \text{ s}^{-1}$ |
| 5. Umfang          | $U_{\text{real}} = 1,53 \text{ m}$   |
| 6. Geschwindigkeit | $v_{\text{real}} = 1,4 \text{ m/s}$  |

Für die ideale Waschmaschine gilt:

- |  |   |
|--|---|
| 4. Die maximale Bahngeschwindigkeit $v_{\text{max}}$ am Trommelrand: | $v_{\text{max}} = \text{sqr} ( U \cdot g / 2 \pi )$ |
| 5. Maximale Drehzahl $n_{\text{max}}$ im Waschgang:                  | $n_{\text{max}} = v_{\text{max}} / U$               |
| 6. Den Umfang bei gegebener maximaler Drehzahl $n_{\text{max}}$ :    | $U = g / ( n_{\text{max}}^2 \cdot 2 \pi )$          |

**[A] Vergleiche die gemessene Geschwindigkeit ( an Rand der Tommel ) der real Waschmaschine mit der der idealen Waschmaschine und erkläre den Unterschied.**

$$v_{\text{real}} = 1,4 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{max}} = \text{sqr} ( U \cdot g / 2 \pi ) = \text{sqr} ( 1,53 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 / 2 \pi ) = 2.39 \text{ m/s}$$

Die gemessene Geschwindigkeit ist kleiner als die berechnete maximale Geschwindigkeit der idealen Waschmaschine. Da der gemessene Wert unter dem berechneten Maximalwert liegt, sind die Werte miteinander vereinbar. Die gemessene Wert für die reale Waschmaschine ist deutlich kleiner als der berechnete Maximalwert, weil die Wäsche früher herunterfällt / abrollt, d.h. die Wäsche erreicht nicht den Höchstpunkt der Wäschetrommel, der in die Berechnung der idealen Waschmaschine einfließt.

**[B] Aus welcher Höhe fällt die Wäsche in der realen Waschmaschine herunter bzw. rollt sie ab ?**

Der Durchmesser der Wäschetrommel beträgt:  $d = U / \pi = 1,53 \text{ m} / 3,14 = 0,49 \text{ m}$

Der Radius der Wäschetrommel beträgt somit:  $r = d / 2 = 0,25 \text{ m}$

Aus dem Kraftansatz folgt für den Grenzfall:  $F_z = F_r$

mit Winkel  $\alpha$  zur Horizontalen:  $m \cdot v_{\text{real}}^2 / r = m \cdot g \cdot \sin \alpha$

$$v_{\text{real}}^2 / r = g \cdot \sin \alpha$$

$$v_{\text{real}}^2 / ( g \cdot r ) = \sin \alpha$$

und den gegebenen Werten:  $( 1,4 \text{ m/s} )^2 / ( 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,25 \text{ m} ) = \sin \alpha$

$$\alpha = 53,05^\circ$$

Befindet sich die Wäsche vom Drehzentrum der Wäschetrommel aus betrachtet in einem Winkel von 53,05 Grad über der Horizontalen, so fällt bzw. rollt sie nach innen / unten zurück. Das entspricht der Höhe von  $h = r \cdot \sin \alpha$

über der Trommelmitte bzw. in konkreten Fall von  $r + r \cdot \sin \alpha = 0,25 \text{ m} \cdot (1 + \sin 53,05^\circ) = 45 \text{ cm}$  über den Tiefpunkt der Trommel, mit anderen Worten 5 cm unter den Maximalhöhe.

**[C] Vergleiche die gemessene Drehzahl der Wäschetrommel der real Waschmaschine mit der der idealen Waschmaschine und erkläre den Unterschied.**

Die Drehzahl der realen Waschmaschine beträgt:  $n_{\text{real}} = 0,92 \text{ s}^{-1}$

Für die ideale Waschmaschine gilt:  $n_{\text{max}} = v_{\text{max}} / U = \text{sqr}(U \cdot g / 2 \pi) / U$

mit  $U = 1,53 \text{ m}$  folgt:

$$n_{\text{max}} = \text{sqr}(U \cdot g / 2 \pi) / U$$

$$n_{\text{max}} = \text{sqr}(1,53 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 / 2 \cdot \pi) / 1,53 \text{ m}$$

$$n_{\text{max}} = 1,01 \text{ s}^{-1}$$

Die ideale Waschmaschine hat eine höhere Drehzahl. Die Folge dieses Unterschieds ist, dass die Wäsche früher, d.h. vor Erreichen des Höchstpunkts herunter fällt oder –rollt, was leicht zu beobachten ist.

**[D] Vergleiche den gemessenen Umfang der Wäschetrommel der real mit dem der idealen Waschmaschine, wenn Du die selbe Drehzahl annimmst, und erkläre den Unterschied.**

$$U_{\text{ideal}} = g / (n_{\text{real}}^2 \cdot 2 \pi)$$

$$U_{\text{ideal}} = 9,81 \text{ m/s}^2 / ((0,92 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 2 \pi)$$

$$U_{\text{ideal}} = 1,84 \text{ m}$$

$$U_{\text{real}} = 1,53 \text{ m}$$

Das bestätigt die bisherigen Überlegungen. Für die ideale Waschmaschine folgt aus dem größeren Umfang auch eine höhere Bahngeschwindigkeit und daraus auch Abfallen / Herunterfallen der Wäsche aus größerer Höhe.

**[E] Im Gegensatz zur idealen Waschmaschine befindet sich bei der realen die Wäsche nicht nur ganz außen, direkt an der Trommel, sondern auch weiter innen. Welche Folgen hat das ?**

Die Wäsche weiter innen hat die selbe Drehzahl wie die Wäsche direkt an der Wäschetrommel. Daraus folgt, dass die Bahngeschwindigkeit  $v$  der Wäsche innen kleiner ist als außen:

$$v_i \cdot a = v_a \quad \text{mit } a > 0$$

daraus folgt:

$$2 \pi \cdot r_i \cdot a / T = 2 \pi \cdot r_a / T$$

$$r_i \cdot a = r_a$$

und für die Zentripetalkraft:

$$F_{zi} = m \cdot v_i^2 / r_i \quad \text{sowie} \quad F_{za} = m \cdot v_a^2 / r_a$$

und unter Berücksichtigung von  $r_i \cdot a = r_a$

$$F_{zi} = m \cdot v_i^2 / r_i \quad \text{sowie} \quad F_{za} = m \cdot (v_i \cdot a)^2 / (r_i \cdot a) = F_{zi} \cdot a$$

Die Zentripetalkraft innen ist somit kleiner als die weiter außen.

Für die Abroll- /fallwinkel gilt:  $v_i^2 / (g \cdot r_i) = \sin \alpha_i$  sowie  $v_a^2 / (g \cdot r_a) = \sin \alpha_a = (v_i \cdot a)^2 / (g \cdot r_i \cdot a)$

daraus folgt

$$v_i^2 / (g \cdot r_i) < (v_i \cdot a)^2 / (g \cdot r_i \cdot a) = a \cdot (v_i^2 / (g \cdot r_i))$$

sowie

$$\sin \alpha_i < \sin \alpha_a \quad \text{und} \quad \alpha_i < \alpha_a, \text{ d.h. die Wäsche innen fällt früher herunter.}$$

# Impressum

## Entnommen aus

Teachers + Scientists: Für Wissenschaft begeistern

## Herausgeber

Science on Stage Deutschland e. V. (SonSD)  
Poststraße 4/5  
10178 Berlin

## Koordinatoren-Team

Helga Fenz, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin,  
Vorstand SonSD  
Christian Karus, Andreas-Vesalius-Gymnasium Wesel  
Dr. Tom Steinlein, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie

## Gesamtkoordination und Redaktion

Karoline Kirschner, Projektmanagerin SonSD  
Stefanie Schlunk, Geschäftsführerin SonSD

## In Kooperation mit

Stiftung Jugend forscht e. V.

**jugend**  **forscht**

Hauptförderer von Science on Stage Deutschland e. V.

**think**  
**ING**

Die Initiative für  
Ingenieurnachwuchs

## Text- und Bildnachweise

Die Autorinnen und Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

## Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

## Illustrationen

Heike Kreye

## Bestellungen

[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)  
[info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)

**Creative-Commons-Lizenz:** Namensnennung, nicht-kommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen



1. Auflage 2017

© Science on Stage Deutschland e. V.

**Sie haben auch Interesse an einer Kooperation zwischen Lehrkräften und Forschenden?** In unserem Leitfaden finden Sie praktische Tipps und Hinweise zur Umsetzung: [www.teachers-and-scientists.de](http://www.teachers-and-scientists.de).