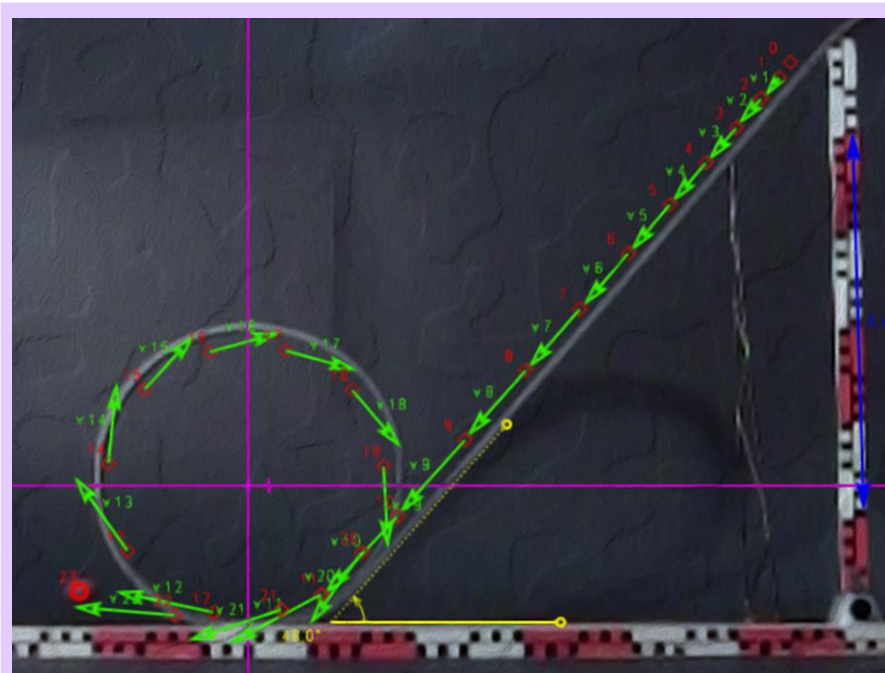


# Das Videoanalyseprogramm Tracker

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung  
für das Lehramt an Hauptschulen und Realschulen im Fach Physik

Eingereicht dem Landesschulamt – Prüfungsstelle Frankfurt am Main –



**eingereicht von:**

Etleva Dai

Februar 2017

**Gutachter:** Prof. Dr. habil. Thomas Wilhelm

Institut für Didaktik der Physik

Goethe-Universität Frankfurt am Main

Max-von-Laue-Straße 1

60438 Frankfurt am Main



**Goethe – Universität Frankfurt am Main**

Institut für Didaktik der Physik

Max-von-Laue-Straße 1

60438 Frankfurt am Main

## ***Das Videoanalyseprogramm Tracker***

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten

Staatsprüfung für das Lehramt an Hauptschulen

und Realschulen im Fach Physik

vorgelegt von

**Etleva Dai**

**Februar 2017**

eingereicht dem Landesschulamt

– Prüfungsstelle Frankfurt am Main –

**Gutachter:** Prof. Dr. habil. Thomas Wilhelm

Institut für Didaktik der Physik

Goethe-Universität Frankfurt am Main

Max-von-Laue-Straße 1

60438 Frankfurt am Main

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Technische Grundlagen zur Videoanalysesoftware .....</b>	<b>7</b>
1.1 Videoaufnahme.....	9
1.1.1 Kamera .....	11
1.1.2 Kameraführung.....	12
1.1.3 Hintergrund.....	13
1.1.4 Ausleuchtung .....	13
1.1.5 Experimentator .....	14
1.1.6 Kalibrierung.....	14
1.1.7 Das Messobjekt .....	14
1.2 Der Videoclip .....	15
<b>2 Das Videoanalyseprogramm Tracker.....</b>	<b>20</b>
2.1 Installation und Einstellungen von Tracker.....	20
2.1.1 Spracheinstellungen.....	22
2.1.2 Video-Engines .....	23
2.1.3 Speichereinstellungen.....	25
2.2 Tracker Fenster und Bedienelemente .....	26
2.3 Videoansicht und Videoplayer .....	28
2.3.1 Videos schneiden / exportieren .....	29
2.3.2 Video Filter-Funktionen .....	30
2.4 Menü- und Symbolleisten.....	34
2.4.1 Das Öffnen von Videos und Tracker-Projekten .....	35
2.4.2 Open Source Physics Digital Library .....	35
2.4.3 Exportdialog .....	36
2.4.4 Clip-Einstellungen.....	37
2.4.5 Kalibrierungswerkzeuge.....	38
2.4.6 Das Koordinatensystem.....	41
2.4.7 Die Punktmasse .....	43
2.4.8 Der Schwerpunkt .....	44
2.4.9 Manuelles Tracking .....	45
2.4.10 Automatische Analyse – Autotrack.....	46
2.4.11 Vektorielle Darstellungen.....	51
2.4.12 Farbprofil Linie .....	52
2.4.13 Farbregion.....	53
2.5 Modellbildung .....	53

---

2.6	Diagramme und Tabellen .....	56
<b>3</b>	<b>Tracker in der Praxis .....</b>	<b>61</b>
3.1	Rollenfahrbahn .....	61
3.1.1	Rollenfahrbahn Kinematische Modellierung .....	65
3.2	Das Wasserpendel .....	67
3.3	Loopingbahn.....	70
3.4	Freier Fall im Wasser .....	75
3.5	Aufsteigende Rakete unter Wasser.....	78
3.6	Schräger Wurf unter Wasser .....	80
3.7	Armbrustpfeil unter Wasser .....	82
<b>4</b>	<b>Betrachtung der Messgenauigkeit.....</b>	<b>85</b>
<b>5</b>	<b>Abschließendes Fazit .....</b>	<b>86</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>88</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>90</b>
	<b>Anhang A: Inhalt der beigefügten CD .....</b>	<b>91</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>92</b>
	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>93</b>

## Einleitung

*Keine Wirkung in der Natur ist ohne Vernunftgrund.*

*Erkenne den Vernunftgrund, und du bedarfst nicht des Experiments.*

**Leonardo da Vinci** (1452 - 1519),  
Tagebücher und Aufzeichnungen

Das Universalgenie da Vinci, zugleich Zeichner, Maler, Bildhauer, Baumeister und Naturforscher, hat mit obigem Zitat bereits ca. 450-500 Jahren indirekt betont, wie wichtig das Durchführen von Experimenten ist und wie die Vernunft beim Begreifen der Spielregeln der Natur durch Experimente unterstützt werden kann.

Die Didaktik der Physik, die sich mit den Prozessen des Lernens und Lehrens beschäftigt und sich als Mittlerin zwischen der Fachwissenschaft Physik und den Bildungswissenschaften sieht, sucht immer nach neuen Wegen, das Begreifen der Spielregeln der Natur und deren Anwendung zu verbessern. Dabei werden stets die modernsten technologischen Entwicklungen berücksichtigt und in die Untersuchungen miteinbezogen, denn sie können beim Verstehen der Spielregeln der Natur eine hilfreiche Unterstützung sein. Hieraus wird deutlich, dass die Anforderungen an den naturwissenschaftlichen Unterricht heutzutage äußerst komplex sind.

Die Schülerinnen und Schüler (SuS) sollen die Welt mithilfe digitaler Medien erkunden und verstehen, neuartige experimentelle Zugänge zu naturwissenschaftlich-technischen Phänomenen kennenlernen, die zum Teil weit über die Grenzen des klassischen Unterrichts hinausgehen, und eine neue Qualität von Anschauung erleben.<sup>1</sup>

Vor allem die Medienvielfalt im Unterricht hilft, keine Langeweile und Monotonität im Unterricht aufkommen zu lassen. In diesem Zusammenhang hat sich in den letzten Jahren mit den neuen Medien (Computer, Videoanalyse, Modellbildungsprogramme) eine große Bandbreite an Möglichkeiten aufgetan, welche die Aufmerksamkeit und Faszination der SuS wecken kann.<sup>2</sup>

Die technologische Entwicklung von digitalen Videokameras und deren enorme Verbreitung haben dazu geführt, dass dieser Fortschritt auch im Physikunterricht nicht unbeachtet geblieben ist. Die digitale Videoanalyse von Bewegungen, die in den 90er Jahren an verschiedenen Universitäten entwickelt wurde und daher nicht mehr als neu bezeichnet

---

<sup>1</sup> (Kuhn, 2015) 26/145

<sup>2</sup> (Michel, 2007, S. 7)

werden kann, konnte einen einfachen Weg aufzeigen, wie gefilmte Alltagsbewegungen und Experimente aus der realen Welt im Physikunterricht als Beispiel für die Verdeutlichung von physikalischen Größen wie z. B. Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung eingesetzt werden können.

Mithilfe eines Videoanalyseprogramms wird das Video in Einzelbilder zerlegt und die Position des Objekts in jedem Bild gespeichert. Dieser Prozess, genannt Motion Tracking, ermöglicht die Bestimmung von physikalischen Größen aus den gewonnenen Positions-Zeit-Daten sowie deren grafische Darstellung.

Neben der Kopplung des Realexperiments mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in Form von Pfeilen können die Bewegungen auch durch Graphen repräsentiert werden. Die Kombination von Experimenten mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen und Graphen ermöglicht zudem, den SuS die Kompetenz des Lesens von Graphen zu vermitteln.<sup>3</sup>

Ein Blick in die Fachliteratur zeigt, dass bereits in vielen wissenschaftlichen Arbeiten unterschiedliche Videoanalyseprogramme eingeführt und beschrieben wurden.<sup>4</sup> In der vorliegenden Arbeit findet ebenfalls eine Einführung in ein solches Videoanalyse- und Modellierungsprogramm statt. Den Untersuchungsgegenstand bildet die Software Tracker, die frei verfügbar ist und eine große Anzahl an Funktionen zum Analysieren, Auswerten, Visualisieren und Modellieren von Bewegungsabläufen sowie Spektral- und Interferenzanalysen anbietet. Entwickelt im Rahmen des von namhaften Universitäten unterstützten Open Source Physics<sup>5</sup> (OSP)-Projekts mit dem Ziel, die Durchdringung der Digitalen Medien und Möglichkeiten im Physikunterricht voranzutreiben, stellt Tracker ein äußerst leistungsfähiges und dennoch relativ einfach zu bedienendes sowie benutzerfreundliches Programm für die digitale Videoanalyse dar.

Dennoch erweist sich die Bedienung des Programms ab einer gewissen Komplexität und einem gewissen Funktionsumfang als anspruchsvoll. Die Einarbeitung in das Videoanalyse- und Modellierungsprogramm Tracker bedarf einer gewissen Zeit. Ein Defizit sind die teilweise unvollständigen deutschen Übersetzungen der Benutzeroberflächenfunktionen. Ein weiterer Kritikpunkt ist der, dass die Programmhilfe und Dokumentation zwar in mehreren Sprachen angeboten werden, eine deutsche Übersetzung bislang jedoch nicht

---

<sup>3</sup> (Michel, 2007, S. 44)

<sup>4</sup> Eine Übersicht ist auf <http://www.thomas-wilhelm.net> zu finden.

<sup>5</sup> (Open Source Physics (OSP))

vorhanden ist. Bezüglich des angebotenen Funktionsumfangs kann Tracker allerdings gut mit kommerzieller Software mithalten. Zudem erfreut sich das Programm einer ständigen Weiterentwicklung bzw. regelmäßiger Updates.

Im zweiten Kapitel der Arbeit werden alle relevanten theoretischen Grundlagen zur Videoanalyse und alle erforderlichen Vorbereitungsschritte wie Videodreh, Videokonvertierung und Nachbearbeitung besprochen. Daraufhin erfolgt im dritten Kapitel eine Einführung in die Installation, Benutzeroberfläche und Funktionen von Tracker.

Anhand von Videoexperimenten, die speziell für diese Arbeit gedreht wurden, werden im vierten Kapitel verschiedene realistische Szenarien der Videoanalyse und Modellierung, wie sie im Physikunterricht oft zur Anwendung kommen, durchgeführt. Dabei werden die einzelnen Arbeitsschritte von Objektverfolgung (Tracken) über Messwerterfassung bis hin zur grafischen Aufbereitung der Messwerte und Modellierungen möglichst genau erklärt und mithilfe von Screenshots verdeutlicht. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Hürden für die Benutzung von Tracker im Physikunterricht zu reduzieren sowie den Einstieg in dessen Bedienung zu erleichtern.

# 1 Technische Grundlagen zur Videoanalysesoftware

Ein physikalisches Experiment, beispielsweise eine rollende Kugel, wird mithilfe einer Kamera aufgenommen. Durch die Markierung eines Punktes auf jedem Einzelbild entsteht eine Folge von Orten, die sogenannte Bahnkurve des Objekts. Ist die Anzahl der Bilder pro Sekunde bekannt, so können das Orts- ( $t-s$ ), Geschwindigkeits- ( $t-v$ ) und das Beschleunigungsdiagramm ( $t-a$ ) erstellt werden. Gute Analyseprogramme erlauben zudem die Erstellung von Funktionsgleichungen aus den Diagrammen sowie die Berechnung von Ableitungen und Integralen oder die Berechnung von abgeleiteten Größen wie der Impuls oder die Energie.<sup>6</sup>

Jedes moderne Betriebssystem kann heutzutage viele verschiedene Formate von Video-clips abspielen. Das Abspielen von Videos findet heute tagtäglich statt, ohne dass die Benutzer noch einen Gedanken darüber verschwenden. Für die Videoanalyse reicht das bloße Abspielen verschiedener Formate jedoch meistens nicht aus. Erforderlich sind Funktionen wie z. B. das schrittweise Navigieren zwischen den Einzelbildern des Video-clips.

Eine Videoanalysesoftware muss über bestimmte Basisfunktionen verfügen, um die Untersuchung und Weiterverarbeitung der Bewegungen in Videoclips zu ermöglichen. Zu diesen Basisfunktionen zählen u. a.:

- Zeitleiste mit bidirektionaler Navigation zwischen den Einzelbildern des Video-clips.
- Anzeige der technischen Details des Videoclips (Bildrate, Auflösung).
- Beliebig positionierbares und skalierbares Koordinatensystem.
- Manuelle Analyse, d. h. manuelles Selektieren der Objektposition in jedem Einzelbild.
- Tabellarische Darstellung der gespeicherten Messdaten.

Basierend auf diesen Grundeigenschaften erfolgt die Aufnahme von Messwerten. Für die weitere Verarbeitung bieten moderne Videoanalyseprogramme eine Vielzahl integrierter Funktionen an. Unter didaktischen und methodischen Gesichtspunkten sind die folgenden Funktionen sinnvoll:

- Wahl des Zeitnullpunkts an beliebiger Position in der Zeitleiste;

---

<sup>6</sup> (Schulphysik Wiki-Tracker)



- Automatische Analyse;
- Analyse mehrerer Objekte in einem Videoclip;
- Diagrammanzeige mit beliebiger Achsenbelegung; automatische Berechnung von Geschwindigkeit und Beschleunigung;
- Berechnung weiterer relevanter Größen (z. B. Impuls, Kraft, Energie);
- Anzeige von Interpolationskurven im Diagramm;
- Anzeige von Ableitungen und Integralen im Diagramm;
- Einblendung symbolhafter Darstellungen (z. B. Objektposition als Punkt, Vektoren als Pfeil);
- Erzeugung von Bildkombinationen (z. B. Stroboskopbilder);
- Ausgleichsfunktionen (analytische Modellbildung);
- Numerische Simulation (tabellen- oder grafikorientierte Modellbildung);
- Längen- und Winkelmessung in den Einzelbildern des Videoclips;
- Wahl einer geeigneten Cursorform beim Markieren des bewegten Objekts.<sup>7</sup>

Das in dieser Arbeit betrachtete Videoanalyseprogramm Tracker verfügt über alle zuvor aufgeführten Funktionen und bildet damit eine solide Grundlage für eine komfortable und effiziente Videoanalyse im Unterricht.

Die automatische Analysefunktion in Videoanalyseprogrammen ist nicht nur eine wichtige Komforteigenschaft, sie sorgt auch für ein hohes Maß an Effizienz und Genauigkeit des Analyseprozesses. Während bei der manuellen Analyse der Benutzer mühsam per Mausclick mithilfe der Variable Genauigkeit die Position des bewegten Körpers am Bildschirm an jedem Einzelbild des Videoclips anklicken muss, um die x- und y-Koordinaten des Punktes in die Tabelle einzutragen, wird bei der automatischen Analyse das zu analysierende Objekt nur noch in einem einzigen Bild selektiert. Die Videoanalysesoftware übernimmt anschließend das Ermitteln der Objektposition (Tracken) in den Nachfolgebildern anhand von Objekt- oder Farberkennungsverfahren. Die Farberkennungsalgorithmen suchen in allen Einzelbildern des Videoclips den gespeicherten Farbwert der markierten Stelle. Wurde eine solche passende Farbfläche gefunden, so wird deren Schwerpunkt als Objektposition registriert. Die gefundenen Farbwerte können von den Mustern abweichen. Daher werden Schwellenwerte definiert, innerhalb deren Grenzen die Farbe

---

<sup>7</sup> (Suleder, 2010, S. 10)

eines Bildpunktes noch als zutreffend akzeptiert wird. Das zu erkennende Objekt sollte daher vom Hintergrund gut unterscheidbar sein und farbig hervorstechen.

Die Suche nach Helligkeitswerten und Kontraststufen ist eine weniger leistungsfähige Variante der Farberkennung, die allerdings auch bei monochromen Aufnahmen funktioniert.<sup>8</sup>

Bei der Objekterkennung werden unter anderem die Größe und die Form untersucht. Beim Auffinden der Objektgrenzen können Farb- und Kontrasterkennung hilfreich sein. Allerdings können Farbe und Kontrast auch innerhalb eines Objekts stark variieren. Eine automatische Objekterkennung benötigt daher weitere Informationen über die Form und Größe des Objekts. Diese Informationen werden durch das einmalige Selektieren des Objektes im Programm in Erfahrung gebracht. Während der Analyse wird auch die Positionsinformation aus der Extrapolation der bisherigen Bahnkurve hinzugezogen, wenn eine Entscheidung zwischen mehreren Muster-/Farbtreffern erforderlich ist.

Die Ergebnisse der automatischen Analyse sind erfahrungsgemäß aufgrund geringer Kontraste oder starker Hintergrundbewegungen bei Außenaufnahmen nicht immer brauchbar. Mithilfe der manuellen Analyse könnten die fehlerhaft ermittelten Objektkoordinaten korrigiert werden.

## 1.1 Videoaufnahme

SuS haben viel Freude am Filmen, aber ein mit einer preiswerten Handykamera freihändig und unter schlechten Lichtverhältnissen aufgezeichneter Versuchsvideoclip wird sich schlecht für eine sinnvolle Videoanalyse eignen. Um physikalische Erkenntnisse aus Videoclips gewinnen zu können, sollten diverse Aspekte zur Einstellung der Kamera und zur Positionierung beachtet werden. Der erste Schritt zur Erzeugung eines qualitativ angemessenen Videoclips ist die Aufzeichnung mit einem geeigneten Aufnahmegerät. Dabei sollte sich der Bildausschnitt auf das Wesentliche beschränken und die Aufzeichnung von nicht relevanten Bewegungen, Gegenständen oder Personen vermieden werden. Letztere können den Lernenden beim Betrachten des Videoclips ablenken. Außerdem wird der Analysevorgang dadurch verkompliziert.

---

<sup>8</sup> (Suleder, 2010, S. 11)

Digitale Videoclips können in unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Auflösungen aufgenommen werden. Primär gibt die Kamera die Auflösung vor. Mithilfe einer Videobearbeitungssoftware kann die Auflösung jedoch nachträglich angepasst werden.

Die Bildformate von Videokameras leiten sich von den immer weiter vom Markt verschwindenden Bildformaten des analogen Fernsehens ab. Diese sind das „Phase Alternating Line“-Format (kurz: PAL-Format) und das „National Television Systems Committee“-Format (kurz: NTSC-Format). Ersteres Format gilt für Europa, Australien sowie für einige Länder Afrikas, Asiens und Südamerikas und letzteres Format für Amerika. Ein PAL-Film hat eine Bildwechselfrequenz/**Bildrate** (Bilder pro Sekunde, abgekürzt mit *BpS*, engl. *frames per second*) von 25 BpS (dies entspricht 40 ms für jedes Vollbild).

Um ein Flimmern bei dieser niedrigen Bildwechselfrequenz zu vermeiden, werden die 25 Vollbilder wie bei einem Kinoprojektor durch die Umlaufblende zeitlich „zerlegt“ und in 50 Halbbildern pro Sekunde angezeigt. Hierbei handelt es sich um das sogenannte Zeilensprungverfahren (*Interlaced Scanning*). Bei im Zeilensprungverfahren aufgenommenem Bildmaterial wurden die geraden Zeilen und die ungeraden Zeilen eines Videobildes abwechselnd aufgenommen. Entsprechendes Filmmaterial wird mit 50i (*i = interlaced*) gekennzeichnet. Das Zeilensprungverfahren führt bei der Einzelbildbetrachtung zu sogenannten Kamm-Artefakten, die eine Positionsanalyse stark erschweren. Daher ist dieses Verfahren für die Videoanalyse ungeeignet. Videokameras sind heute in der Lage, zusätzlich zu den Halbbildern echte Vollbilder aufzuzeichnen. Das Filmmaterial trägt in diesem Fall die Bezeichnung 50p (*p = progressive scan*). Im Gegensatz zu PAL arbeitet das NTSC im Halbbildverfahren mit einer Bildwiederholfrequenz von 59,94 Hz (bzw. 29,97 Vollbildern pro Sekunde). Digitales Videomaterial wird oft auf 30 Vollbilder gerundet. Es ist daher von 60i und 30p die Rede. Die heutigen hochauflösenden Fernsehstandards (*HDTV*- „*High Definition Television*“ und *UHDTV*- „*Ultra High Definition Television*“) umfassen sowohl Halbbild- als auch Vollbildmaterial mit Bildraten, die sich weiterhin an den PAL- und NTSC-Standards mit 50 bzw. 59,94 Halbbildern pro Sekunde orientieren.

Bildpunkte, auch bekannt als Pixel, sind die Bausteine der digitalen Bilder. Die räumliche Auflösung digitaler Bilder wird als Pixelanzahl entlang der Breite und Höhe angegeben. Beim PAL-Standard sind es  $768 \times 576$  Pixel (4:3-Format) bzw.  $1024 \times 576$  Pixel (16:9-Format), bei der aktuellen 4K UHD-Auflösung sogar  $3840 \times 2160$  Pixel. Als Kurzschreibweise werden oft Bezeichnungen wie 1080p50 verwendet, wobei die erste Zahl

für die räumliche Auflösung angegeben in der Zeilenanzahl steht (für  $1920 \times 1080$  Pixel), der darauffolgende Buchstabe für das Vollbild- oder Zeilensprung-aufnahmeverfahren und die zweite Zahl für die zeitliche Auflösung bzw. Bildrate (50 BpS).

### 1.1.1 Kamera

Das Empfehlen einer Kamera für die Videoanalyse gestaltet sich als schwierig, denn der Kameramarkt entwickelt sich derart rasant, dass ausgesprochene Empfehlungen schon nach wenigen Monaten wertlos sind. Die aufgezeichnete Videoqualität hängt dabei von mehreren Eigenschaften einer digitalen Videokamera ab. Diese Eigenschaften werden im Folgenden genauer betrachtet.

Heutzutage können Konsumenten eine Vielzahl verschiedener Kameratypen auf dem Markt erwerben. **Analoge Camcorder** sind mittlerweile veraltet und sehr bedingt geeignet für die Videoanalyse. Moderne **Digitale Camcorder** sind sehr leistungsfähig und mit sehr hohen Auflösungen (z.B. 8K UHD  $7680 \times 4320$  Pixel) und qualitativen Objektiven ausgestattet. Selbst **Actionkameras** versetzen ihre Benutzer in Erstaunen, denn zum einen sind mit ihnen heutzutage hohe Bildraten möglich und zum anderen verfügen sie über hochwertige Objektive mit einer Bildauflösung von bis zu 4K Qualität. **Digitale Fotokameras** sind meistens für die Aufnahme von Einzelbildern optimiert und mehrheitlich mit einem Betriebssystem zur Aufnahme von Videoclips ausgestattet. Die Bildsensoren der digitalen Fotokameras können heute vergleichbar hohe Auflösungen und Bildraten wie digitale Kameras und Actionkameras erreichen. Aktuelle Kameras können meist mit bis zu 4K UHD-Auflösungen ( $3840 \times 2160$  Pixel) filmen.

Vor dem Dreh eines Versuchsvideos zwecks Videoanalyse sollten folgende Regeln beachten werden, um eine gute Videoaufnahme zu erzielen:

- Die Kamera sollte ein qualitativ hochwertiges Objektiv besitzen. Linsen von Handys erfüllen diese Anforderung meistens nur unzureichend.
- Es sollte kein zu starkes Weitwinkelobjektiv verwendet werden, um optische Verzerrungen zu vermeiden.
- Die Bildrate sollte nicht zu klein sein. Fast jede aktuelle Kamera kann heute mindestens 15 Bilder pro Sekunde aufnehmen. Für manche Aufnahmen (z. B. Wurf- oder Fallbewegungen) reicht dies aber oft nicht aus. Beispielsweise erhält man bei

der Aufnahme eines freien Falls aus 1,0 m Höhe und einer Dauer von ca. 4 Sekunden nur 6 bis 7 Bilder zum Auswerten. 30 BpS sind für die meisten Zwecke ausreichend, selbst wenn aktuelle Kameras auch als „Hochgeschwindigkeitskameras“ mehrere 100 BpS aufnehmen können.

- Die Kamera sollte eine nicht zu kleine Bildgröße liefern: 640 x 480 Pixel sind in der Regel ausreichend, während 320 × 240 Pixel für viele Aufnahmen eher zu wenig sind. Empfohlen werden für die Videoanalyse folgende Kombinationen von Auflösung und Bildrate: 1920 × 1080 mit 30 BpS, 640 × 480 mit 30-120 BpS, 512 × 384 mit 30-240 BpS.
- Die Bildrate sollte bei der Aufnahme bekannt sein, so kann sie später bei der Analyse angegeben werden.

Folgende Kameras fanden im Rahmen dieser Arbeit Anwendung:

1. Die Casio EXILIM EX-ZR200, eine Hochgeschwindigkeitskamera mit Frame-Raten von 15-1000 BpS und Auflösungen von bis zu 1920 × 1080 Pixel. Diese Kamera eignet sich gut für die Aufnahme von Videoanalyseclips.
2. Die Actionkamera GoPro 4 Black mit Frame-Raten von 15-240 BpS und Auflösungen bis zu 3840 × 2160 Pixel wurde in dieser Arbeit für Unterwasseraufnahmen eingesetzt.

Bei der Verwendung von Actionkameras muss grundsätzlich auf die Verzerrung geachtet werden. Actionkameras können durch Linsenverzerrungen trotz der kleinen Linsen ein weites Umfeld erfassen. Verzerrungen sind aber bei der Videoanalyse sehr unwillkommen, daher sollte bereits im Vorfeld die eingestellte Verzerrung minimiert (Einstellung: Narrow = im Sensor wird das Bild geschnitten) oder nachträglich via Videobearbeitung (führt jedoch zu Ungenauigkeiten) korrigiert werden.

### 1.1.2 Kameraführung

Die Kameraführung ist ein wichtiger Aspekt, der bei der Videoaufnahme nicht zu vernachlässigen ist. Daher sollten ein paar Hinweise diesbezüglich beachtet werden.

Die Kamera sollte:

- während der Aufnahme möglichst nicht bewegt werden.
- nicht *freihändig* gehalten werden, um Verwacklungen zu vermeiden. Die Bildstabilisatoren, die heute in vielen Kameras integriert sind, arbeiten oft nicht perfekt

und können Bildfehler verursachen. Es wird daher empfohlen, ein Stativ zu verwenden oder die Kamera auf einem Objekt (Tisch, Experimentiertisch) aufzustellen.

- möglichst senkrecht zur Bewegungsebene ausgerichtet sein, um Winkelverzerrungen zu vermeiden.
- so aufgebaut werden, dass der Versuch in der Bildmitte abläuft.
- stets etwa auf halber Versuchshöhe positioniert sein. Somit wird der überwiegende Teil des Versuchs im Zentrum der Kamera aufgenommen. Auch Verzerrungen können dadurch weitgehend reduziert werden.
- ohne Zoom-Veränderungen betrieben werden, da sonst unter Umständen ein Bezugspunkt fehlt.

### 1.1.3 Hintergrund

Bezüglich der Wahl des Hintergrundes gilt es ebenfalls gewisse Punkte zu beachten. Der Hintergrund sollte:

- detailarm, möglichst **gleichmäßig** und unbewegt sein.
- möglichst **nicht spiegeln**.
- homogen, ohne **große Helligkeitsschwankungen** und am besten einfarbig sein.
- **nicht sehr dunkel sein**. Ein dunkler Hintergrund bewirkt unter Umständen längere Belichtungszeiten und folglich eine größere Bewegungsunschärfe als ein heller Hintergrund.

### 1.1.4 Ausleuchtung

Die Ausleuchtung des zu filmenden Abschnitts spielt bei der Aufnahme eine wichtige Rolle. Um eine qualitative Ausleuchtung zu erzielen, sollte diese:

- möglichst diffus und über den ganzen Filmbereich **gleichmäßig** sein.
- so gewählt werden, dass das Versuchsobjekt möglichst keine Schatten wirft.
- entsprechend der Bildrate aufgestellt sein. Zum Beispiel reicht bei Bildraten von 30-300 BpS das Tageslicht/die übliche Raumbelichtung meistens aus. Bei natürlichem Tageslicht leuchtet ein Video oft besser aus als bei einer aufwendigen, aber zusätzlichen unprofessionellen Versuchsbeleuchtung. Bei Bildraten von 300-600 BpS muss auf eine sehr gute Beleuchtung geachtet und evtl. eine zusätzliche

Versuchsbeleuchtung aufgestellt werden. Bei größeren Bildraten (z. B. 1000 BpS) ist in der Regel eine zusätzliche Versuchsbeleuchtung zwingend notwendig.

### 1.1.5 Experimentator

Die Person, die das Experiment durchführt, sollte sich am besten seitlich zur Verbindungslinie von Kamera und Versuchsablauf befinden. Die Homogenität des Hintergrundes des Versuchsvideos würde aufgrund unvermeidbarer Bewegungen gestört werden.

### 1.1.6 Kalibrierung

Eine Videoanalysesoftware benutzt zwar das im Betriebssystem eingebaute Koordinatensystem, um die Objektpositionen in den Videoclips zu bestimmen. Zusätzlich ist es bei der Videoanalyse notwendig, ein Koordinatensystem samt Skalierung in einem Bild festlegen zu können. Um die Skalierung (Längen am Bildschirm in reale Längen umrechnen) festlegen zu können, ist eine Kalibrierung/Eichung notwendig. Dabei muss die reale Länge eines Elementes aus dem Bild bekannt sein.

Zwecks Kalibrierung sollte auf dem Bild:

- ein ausreichend großer **Maßstab** (meist ein 1-Meter-Stab) vertikal oder horizontal zum Versuchsablauf und in der gleichen Ebene eingefügt werden. Je nach Hintergrund und Farbe des Maßstabs kann eine kontrastreiche Markierung (zum Beispiel mit farbigen Klebestreifen) der beiden Enden des Stabes vorteilhaft sein. Es genügt aber auch, wenn man die **Abmessungen eines Objekts in der Aufnahme** (Länge einer Fahrbahn oder eines Autos, Durchmesser einer Kugel etc.) **kennt**.
- die Information über die verschiedenen Größen der Objekte, die sich per Videoanalyse nicht bestimmen lassen, wie z. B. die Masse des bewegten Körpers, mit eingeblendet werden. Diese Daten werden für die späteren quantitativen Untersuchungen benötigt und sind bei der Durchführung des Experiments zu messen und zu dokumentieren. Alternativ können sie in einer Textdatei neben der Videodatei hinterlegt werden.

### 1.1.7 Das Messobjekt

Der Gegenstand, dessen Bewegung man erfassen möchte, sollte:

- einen guten **Farb- und Helligkeitskontrast** zum **Hintergrund** aufweisen. Besonders geeignet sind **kräftig leuchtende Farben** wie z. B. Neonfarben. Bei mehreren Objekten empfiehlt sich die Verwendung unterschiedlicher Farben. Menschen sollten an wichtigen Punkten (z. B. Kopf, Gelenke, Körperschwerpunkt) mit farbigen Markierungen versehen werden, um z. B. Bewegungen der einzelnen Körperteile analysieren zu können.
- ausreichend beleuchtet sein.
- während der Bewegung **nicht von anderen Gegenständen verdeckt** werden.
- sich nach Möglichkeit **nicht allzu schnell bewegen**.
- einen **guten Bezugspunkt** haben, der ausreichend deutlich (Farbe) heraussticht und so leicht verfolgt werden kann.

## 1.2 Der Videoclip

Das aufgenommene Videomaterial sollte einer Nachbearbeitung unterzogen werden, um einen Videoclip zu produzieren, der bei möglichst geringer Dateigröße eine möglichst gute Bildqualität besitzt. Man sollte meinen, dass Speicherplatz und Speichermedien heute kein Thema mehr sind, jedoch ist die Vermeidung unnötiger speicherintensiver Dateien in vielerlei Hinsicht sinnvoll.

Beispielsweise ist bei einem digitalen Videoclip in einer HD-Auflösung von  $1920 \times 1080/50p$  (bei 10 Bit/Grundfarbe = 30 Bit/RGB-Pixel) ein einziges Vollbild  $2.073.600 \text{ Pixel} \times 30 \text{ Bit} = 62.208.000 \text{ Mbit}$  (= 7,776 MB) groß. Bei 50 Vollbildern pro Sekunde sind es 388,8 MB/s Datenvolumen. In eine DVD mit 4,7 GB würden gerade einmal 12 Sekunden Film passen.

Nicht nur die Kapazität des Speichermediums wird dadurch recht schnell erschöpft, sondern auch die Schreibgeschwindigkeit könnte ein Problem darstellen. Solche Datenmengen können nicht mehr in Echtzeit auf das Speichermedium geschrieben werden. Extrem schnelle SDXC-Karten (sogenannte Ultra- und extreme Varianten) erreichen beim Schreiben 40-50 MB/s. Diese Geschwindigkeit würde für Videoclips im PAL-Format noch ausreichen, aber die normalen SDHC-Karten bieten nur Geschwindigkeitsklassen von 2 MB/s bis 10 MB/s an (angezeigt durch ein „C“ für Class. Zum Beispiel bedeutet „**Class 10**“, dass die Karte eine Schreibgeschwindigkeit von mindestens 10 MB/s bietet). Das würde selbst für unkomprimierte Videos im PAL-Format nicht ausreichen.



Die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Videoclips in dem Videoanalyseprogramm sowie auch der Austausch z. B. über das Internet werden aufgrund der Dateigröße leiden.

Ähnlich wie bei der Fotografie stellt die Datenkomprimierung die Lösung für die Reduzierung des Speicherbedarfs von Videoclips dar. Das Ziel der unzähligen Kompressionsalgorithmen ist es, mit möglichst geringem Qualitätsverlust möglichst kleine Dateien zu erzeugen. Die Kompression eines Videoclips ist in der Regel verlustbehaftet, das heißt, Bildinformation geht dabei verloren. Es gibt jedoch auch verlustfreie Kompressionsalgorithmen.

„Codecs“ steht für Codierer/Decodierer und bezeichnet im Kontext von Videos die Hilfsprogramme für die Kompression und Dekompression von Videoclips. Bezogen auf die Informationen, die komprimiert werden sollen, gibt es unzählige unterschiedliche Kompressionsverfahren. Jedes Kompressionsverfahren hat seine Vor- und Nachteile. Alle Videokompressionsverfahren beruhen auf dem Prinzip der Eliminierung von redundanten Informationen. Aus der Tatsache heraus, dass sich von einem Videobild zum nächsten in der Regel nur wenig verändert, werden mehrere aufeinanderfolgende Einzelbilder von den modernen Kompressionsverfahren zu einer in Abhängigkeit untereinander kodierten Bildergruppe (*Group of Pictures = GoP*) zusammengefasst. Im Prinzip wird also das erste Bild eines Videoclips vollständig gespeichert und im Folgenden nur noch diejenigen Pixelinformationen berücksichtigt, die sich gegenüber dem Vorgängerbild geändert haben. Daraus werden Differenzbilder, genannt P-Frame (predictive frame = P-Frames), berechnet. Da sich dieses Prinzip aber aufgrund der Filmhandlung nicht unendlich lange auf eine Videosequenz anwenden lässt, müssen in definierten Zeitabständen oder an Szenenwechseln vollständige Bilder (intracodierte Frames = I-Frames) zur Auffrischung gespeichert werden. Zusätzlich können Differenzbilder, genannt B-Frames (bidirectional frame), die Differenz-Informationen aus dem vorhergehenden und/oder nachfolgenden I- oder P-Bild erhalten. Dadurch, dass üblicherweise etwa jedes zehnte Bild ein Vollbild (I-Frame) ist und dazwischen Differenzbilder sind, ist der beliebige Zugriff auf die Bilder sowie die Vorwärts- und Rückwärtsnavigation auf die Einzelbilder nur durch intensive Berechnung möglich.

Da sich der Hintergrund bei zu analysierenden Videos nicht ändert, kann der Einsatz von P-Frames die Größe eines Videos bei gleicher Qualität im Vergleich zu einem ausschließlichen Einsatz von I-Frames um bis zu 90 % verringern.<sup>9</sup>

Bekanntere, aber verlustbehaftete Codecs sind heute z. B. Cinepak, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264, HEVC, WMV, DivX.

Um neben der Videospur auch eine oder mehrere Audiospuren in einer Datei zu speichern, gibt es sogenannte Container. Die Anzahl gängiger Containerformate ist deutlich kleiner als die Zahl der Codecs. Jedes Containerformat besitzt eine eigene Dateierweiterung wie AVI, MOV, MP4 und MPEG.

AVI steht für „Audio Video Interleave“, was übersetzt so viel wie „verschachteltes Audio und Video“ bedeutet. Es handelt sich um ein von der Firma Microsoft eingeführtes Containerformat. Das ASF („Advanced Systems Format“)-Containerformat ist eine neuere, speziell zum Streaming konzipierte Entwicklung von Microsoft. Der WMV-Codec („Windows Media Video“) ist ein aktueller Microsoft Video Codec.

QUICKTIME (MOV, QT, MP4) ist nicht nur ein Containerformat, sondern ein komplettes Multimedia-Framework der Firma Apple. Es ist eine eigenständige, das Betriebssystem erweiternde Architektur zum Erstellen, Editieren und Verteilen von Multimedia-Inhalten. Dateien mit der Endung MOV sind ein bekanntes Containerformat von Apple. Seit 1998 gibt es das QuickTime-Format als Containerformat für MPEG-4. Das MPEG-4 Containerformat heißt offiziell MP4.

AVCHD („Advanced Video Codec for High Definition“) ist ein spezielles Format für hochauflösende Aufnahmen. Bei Videoaufzeichnungen mit Consumer- und Prosumer-Camcordern auf digitale Datenträger wie die SD-Karte oder den Flash-Speicher wird der H.264/MPEG-4 AVC-Codec verwendet.<sup>10</sup>

Das Containerformat MPEG (von „Motion Picture Experts Group“) ist nicht zu verwechseln mit den weit verbreiteten Kompressionsverfahren MPEG-1, MPEG-2 und MPEG-4. Aus der Dateierweiterung lässt sich der bei der Komprimierung verwendete Codec nicht ableiten (beispielsweise kann ein MPEG-4-komprimierter Videoclip auch in einem AVI-Container stecken).

---

<sup>9</sup> (Sauer, 2013, S. 9)

<sup>10</sup> (AVCH Information Web Seite)

Matroska (.mkv) ist ein plattformübergreifendes Open Source Multimedia Containerformat, das verschiedene Videocodecs, unter anderem MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 und HEVC unterstützt.<sup>11</sup>

Einige Funktionen von Videoanalyseprogrammen benötigen direkten Zugriff auf die Einzelbilder des zu analysierenden Videos, beispielweise beim Navigieren zu beliebigen Bildpositionen oder beim Rückwärtsabspielen. Hierfür sind Ältere Codecs für das AVI-Format eignen sich besonders gut geeignet. Diese sind darüber hinaus auf den meisten Computern verfügbar.<sup>12</sup>

In seiner Arbeit „Measure Dynamics. Das Tutorial“ hat Sauer vier verbreitete Codecs (Cinepak, MJPEG, MPEG4 und H.264) hinsichtlich der Parameter Qualität, Analysegeschwindigkeit, komprimierte Dateigröße und Code-Verfügbarkeit analysiert und miteinander verglichen. Seine Wahl fällt nach der Analyse auf den MPEG4-Codec. Allerdings müssen bei der Konvertierung von Versuchsvideos mit MPEG-4 bestimmte Einstellungen berücksichtigt werden, um das Optimum zu erzielen. So sollten z. B. die B-Frames deaktiviert sein und für die GoP eine Größe gewählt werden, die nicht größer als 12 ist.<sup>13</sup>

Folgende Empfehlungen sollten beherzigt werden, um bei der Nachbearbeitung von Versuchsvideos ein optimales Ergebnis zu erhalten:

- Der Videoclip sollte zeitlich und räumlich auf den Versuchsvorgang beschränkt und folglich entsprechend geschnitten werden. Beispielsweise genügt bei einem Bewegungsversuch, dass das Video die Zeitspanne vom Bewegungsstart bis zum Stillstehen enthält. Über das räumliche Schneiden können unnötige Details der Umgebung beseitigt werden.
- Da Videoanalyseprogramme den Ton meist ignorieren, kann der Videoclip auch ohne Tonspur kodiert werden.
- Bei Aufnahmen im Hochformat erleichtert das Drehen des Videoclips die Übersicht und Analyse.
- Über Helligkeits- und Kontrasteinstellungen sowie weitere Einstellungen/Optionen kann die Bildqualität verbessert werden.

---

<sup>11</sup> (Videotechnik-Kompendium, 2017)

<sup>12</sup> (Suleder, 2010, S. 20)

<sup>13</sup> (Sauer, 2013, S. 9)

- Containerformat und Codec sollten nicht sehr exotisch sein. Am besten sind Containerformate, die auf allen Zielrechnern, auf denen das Video später verwendet wird, verfügbar sind. Alte Containerformate wie AVI und Codecs wie MPEG-4 sind meist eine gute Wahl. Um Darstellungsfehler wie Klötzchen/Artefakte zu vermeiden, sollte bei den verlustbehafteten Kodierverfahren die Kompressionsstärke grundsätzlich nicht zu groß sein.
- Das Ausgangsmaterial kann vergrößert oder verkleinert werden („Resize“). Eine Halbierung der Seitenlängen verringert den Speicherbedarf eines Videoclips oft beträchtlich, halbiert jedoch auch die Ortsauflösung. Eine Vergrößerung ist meist nicht sinnvoll, denn die fehlenden Bildinformationen werden dabei interpoliert. Dies führt zu keiner echten Erhöhung der Ortsauflösung.<sup>14</sup>

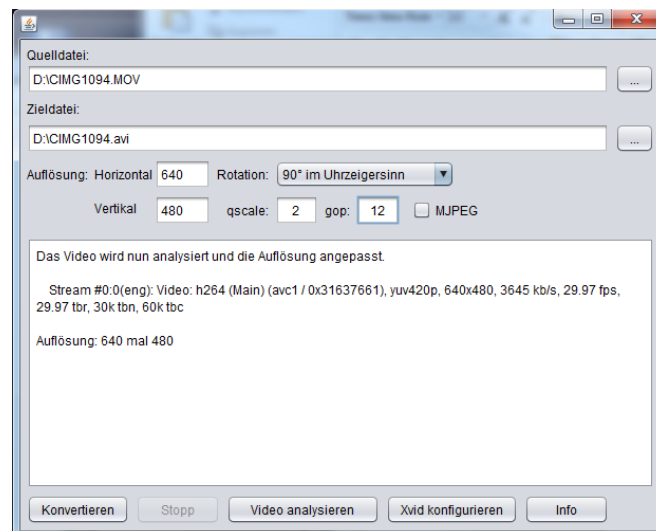


Abbildung 1.2-1. Convideo

**Tipp:** Das Java-basierte Hilfsprogramm Convideo in Abbildung 1.2-1 wurde von Sauer zur Unterstützung bei der Vorbereitung, Komprimierung und Drehung von Videos zwecks Videoanalyse entwickelt. Es kann nahezu jegliches Video in das MPEG4-Format umwandeln und speichert dieses in einem AVI-Container. Enthaltene Tonspuren werden verworfen. Die Größe der GoP kann angepasst werden: Es empfiehlt sich, bei hochauflösendem Material (ab  $1280 \times 720$ ) eine GoP-Größe von 1-3, bei niedriger aufgelösten Videos von 12 zu wählen.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> (Suleder, 2010, S. 27)

<sup>15</sup> (Sauer, 2013, S. 15)

## 2 Das Videoanalyseprogramm Tracker

Das Videoanalyse- und Modellierungsprogramm Tracker ist im Rahmen des Projekts Open Source Physics<sup>16</sup> als frei verfügbares Tool unter den plattformunabhängigen Java Frameworks entwickelt worden. Tracker stellt ein sehr leistungsfähiges Tool dar, das über eine große Palette an Funktionen verfügt und dennoch ein einfach gehaltenes Nutzungsprofil anbietet. Neben dem Standard-Funktionsangebot wie manuelles-/automatisches Tracken, Einblendungen (Vektorpfeile), Messwerterfassung sowie grafische Darstellungen und Modellierungen sind auch leistungsstarke Videofilter (z. B. Drehen, Größe anpassen, Beseitigung von perspektivischen und radialen Verzerrungen, Stroboskopbilder usw.) sowie Videoschnitt- und Exportfunktionen im Programm enthalten. Damit ist eine Nachbearbeitung von Videoclips mit externen Tools oft nicht mehr notwendig, da diese direkt in Tracker erledigt werden kann.

Des Weiteren bietet Tracker seinen Nutzern eine Einführungshilfe in das Programm. Im Rahmen dieser Einführung werden der Aufbau der Benutzeroberfläche sowie die Hauptfunktionen von Tracker vorgestellt. Um den Umfang der vorliegenden Arbeit nicht zu sprengen, werden die verwendeten Programmfunktionen von Tracker nicht bis ins kleinste Detail beschrieben. Die englische Fassung der Tracker-Hilfe, erhältlich im PDF-Format<sup>17</sup>, kann bei spezifischeren Fragestellungen evtl. weiterhelfen. Ein Teil der komplexeren Tracker-Funktionen wird anhand von Beispielen im nächsten Kapitel erläutert.

### 2.1 Installation und Einstellungen von Tracker

Das Open Source Programm „Tracker“ (z. Z. die Version 4.95) kann kostenlos auf den folgenden Internetseiten heruntergeladen werden:

<http://physlets.org/tracker/> oder

<http://www.opensourcephysics.org/items/detail.cfm?ID=7365>

Das Programm steht für Windows (7, 8, Vista, XP) (32 bit und 64 bit), OSX und Linux (32 bit und 64 bit) zur Verfügung.

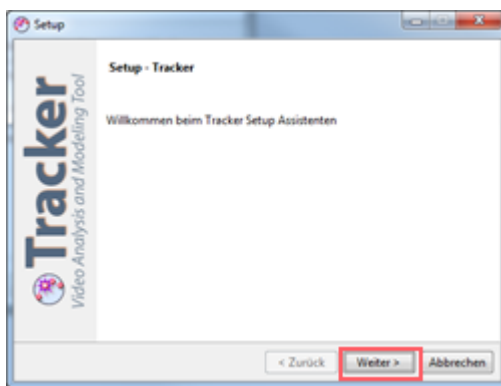
---

<sup>16</sup> (Open Source Physics (OSP), 2017)

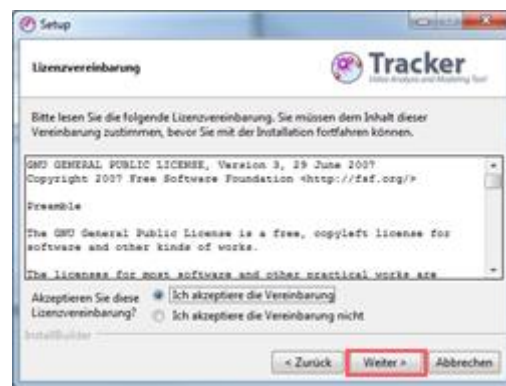
<sup>17</sup> (Tracker Help, 2017)

Tracker verwendet die Copyleft-Lizenz GNU General Public v3, was die Ausführung des Programms für alle Zwecke (auch für kommerzielle Zwecke) erlaubt. Nach Erscheinen des Begrüßungsfensters (Abbildung 2.1-1a) müssen die Lizenzvereinbarungen (Abbildung 2.1-1b) akzeptiert werden, um auf das Installationsverzeichnis (Abbildung 2.1-1c) zu gelangen.

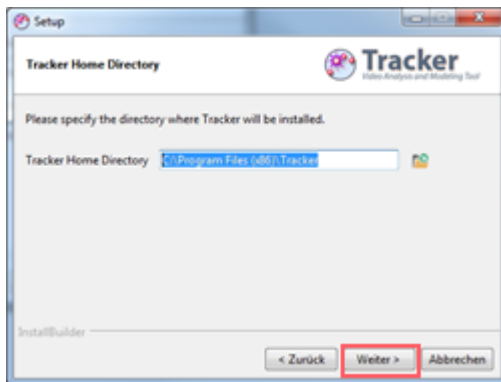
Im nächsten Schritt (Abbildung 2.1-1d) können bei Bedarf die in der Standardversion enthaltenen Videos und Experimente ausgewählt bzw. angeschaut werden. Diese bieten eine große Hilfe bei der Eingewöhnung und Einarbeitung in das Programm.



a) Tracker Installationsstart



b) Tracker Lizenzvereinbarung



c) Tracker Installationsverzeichnis



d) Tracker Video- und Experimentverzeichnis

Abbildung 2.1-1 Tracker Installation

Um Tracker benutzen zu können, ist mindestens Java 1.6 nötig (**Tipp:** Die aktuell installierte Java-Version kann über die Tracker Menüpunktfolge *Hilfe => Diagnostik => Über Java...* ermittelt werden). Für die Analyse der Videos wird QuickTime 7 oder Xuggler benötigt. Hierbei handelt es sich ebenfalls um kostenlose Programme. Xuggler wird bei der Installation von Tracker bereits mit installiert. Die Open-Source Library von Xuggler ist eine funktionsreiche Bibliothek zum Konvertieren und Transkodieren von Multimedia-Inhalten. Die

Video Engine unterstützt Videoformate wie MOV, AVI, FLV, MP4 und WMV sowie die Betriebssysteme Windows, OSX und Linux. Die Apple-eigene QuickTime Video Engine wird nur von Windows und OSX unterstützt. Sie kann kostenlos heruntergeladen werden.

**(Tipp:** Die Eigenschaften der aktuell installierten Versionen von Xuggler und QuickTime können über die Menüpunktfolge *Hilfe =>Diagnostik =>Über Xuggle.../über QuickTime...* herausgefunden werden).

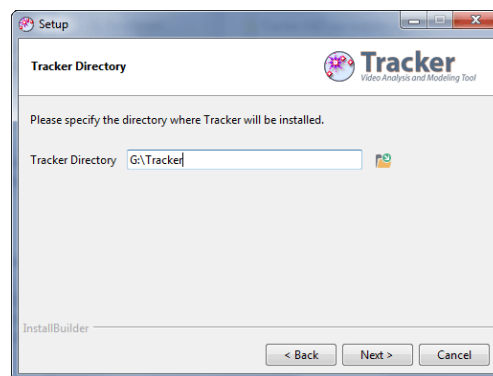


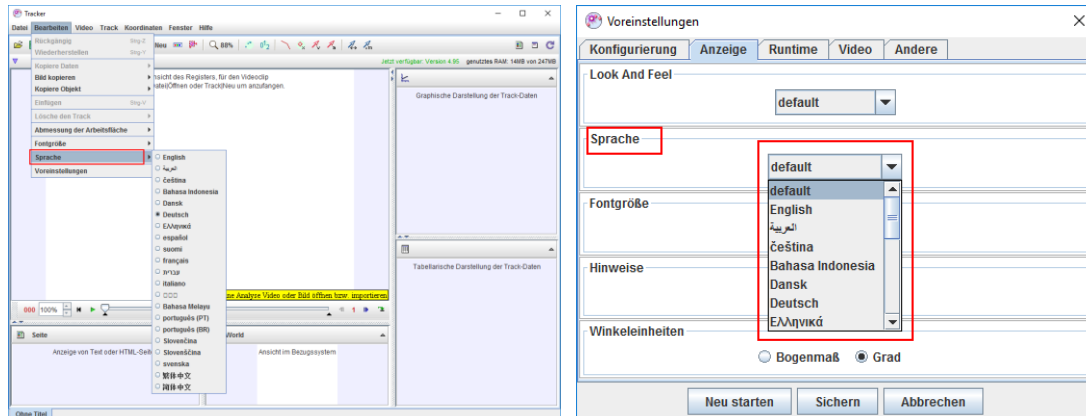
Abbildung 2.1-2 Tracker Pfad für die portable Installation

**Tipp:** Tracker lässt sich auch als portable Installation durchführen z.B. auf einen USB Stick (siehe Abbildung 2.1-2; mehr dazu unter: [http://physlets.org/tracker/portable\\_tracker.html](http://physlets.org/tracker/portable_tracker.html)). Das Programm kann dann direkt vom Stick ausgeführt werden ohne vorherige Installation. An Schüler-PCs oder an Rechner nimmt eingeschränkten Zugriffs- und Installationsrechten könnte beispielsweise ein TrackerUSB-Stick zur Verfügung gestellt werden).

### 2.1.1 Spracheinstellungen

Tracker ist ein multilinguales Programm. Deutsch wird allerdings nur zum Teil unterstützt. So kommt es z. B. bei der Installation vor, dass nicht alle Textfelder in deutscher Sprache abgebildet sind (Abbildung 2.1-1c). Manche Texte werden daher auf Englisch angezeigt. Auch die Hilfe wird zurzeit nicht auf Deutsch angeboten. Die meisten Texte im Programm sind aber ins Deutsche übersetzt worden. Als nicht kommerzielles Programm ist das Entwicklungsteam stets auf Unterstützer für die Übersetzungen angewiesen. Die gewünschte Sprache kann unter der Menüpunktfolge *Bearbeiten =>Sprache* (Abbildung 2.1-3a) für die aktuelle Sitzung eingestellt werden. Das dauerhafte Einstellen einer Sprache erfolgt unter der Menüpunktfolge *Bearbeiten =>Voreinstellungen =>Anzeige => Sprache* (Abbildung 2.1-3b). Diese Einstellung ist erst nach einem Tracker Neustart aktiv (Default = Betriebssystemsprache).

Weitere Voreinstellungen (Abbildung 2.1-3b) wie die Winkleinheiten, das Schema des Aussehens von Tracker oder die Schriftgröße können dort vorgenommen werden. Unter dem Karteireiter Konfigurierung können die sichtbaren Elemente (Menüs, Schaltflächen und weitere sichtbare Tracker-Elemente) konfiguriert werden. Dadurch können Elemente, die nicht gebraucht werden und evtl. stören, versteckt werden.



a) Tracker Sprache ändern

b) Tracker Sprachvoreinstellungen

Abbildung 2.1-3. Spracheinstellungen

Derartige Einstellungen sind z. B. während der Einführung von SuS in Tracker oder anderen Situationen, in denen die vielen Tracker-Funktionen ablenken könnten, sinnvoll und hilfreich. Diese Einstellungen können sogar mit Tracker-Projekten exportiert werden, um z. B. Demos vorzubereiten. Dieser Punkt wird im weiteren Verlauf der Arbeit ausführlicher erläutert.

### 2.1.2 Video-Engines

In Kapitel 1.2 wurde ausführlich auf die Video-Container und Codecs eingegangen, Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welche dieser Container und Codecs von Tracker unterstützt werden. Tracker kann grundsätzlich drei verschiedene Videotypen analysieren:

1. **Digitale Videodateien** wie .mov, .avi, .mp4, .flv, .wmv, .ogg, usw. Dafür wird eine der bereits erwähnten Video-Engines (**Xuggle oder QuickTime**) benötigt.
2. **Animierte GIF-Dateien** mit der Endung (.gif).
3. Aufeinanderfolgende digitale **Bildersequenzen** (.jpg, .png).



Die zwei von Tracker unterstützten Video-Engines **Xuggle** (wird bei der Standardinstallation automatisch mit installiert) und Quick Time (kann zusätzlich installiert werden) können eine Vielzahl von Containerformaten abspielen:

- **Xuggle** kann die meisten digitalen Videodateien verarbeiten, vor allem die für die Videoanalyse interessanten Containerformate: .mov, .avi und .mp4.
- **QuickTime** kann nur die Containerformate .mov, .avi und .mp4 verarbeiten, was aber für die Videoanalyse nicht einschränkend ist.

Die Einstellungen über die aktuell verwendete Video-Engine von Tracker sind unter der Menüpunktfolge *Bearbeiten =>Voreinstellungen =>Video* (Abbildung 2.1-4) zu finden. Als Standard ist Xuggle eingestellt. QuickTime kann optional ausgewählt werden, falls die Engine zusätzlich installiert wurde. Unter diesen Einstellungen kann zusätzlich die Video-Abspielgeschwindigkeit von standardmäßig ruckelfrei und etwas langsam auf schnell mit möglichem Ruckeln verändert werden. Die Warnmeldungen sind sinnvoll. Sie sollten nur abgeschaltet werden, wenn sie sehr störend sind.

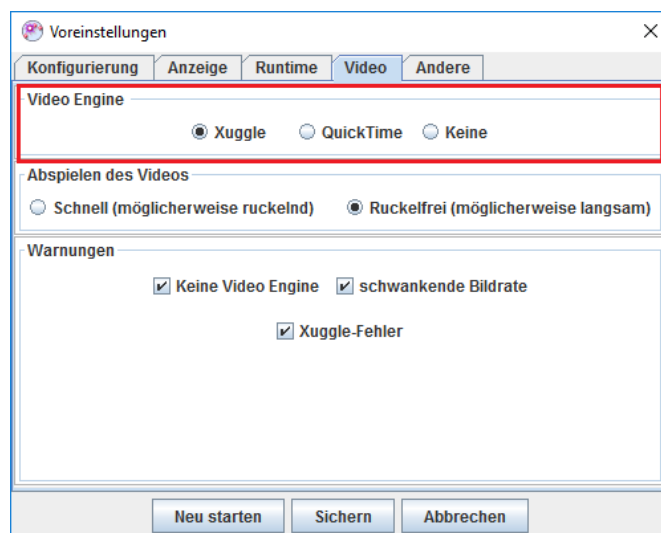
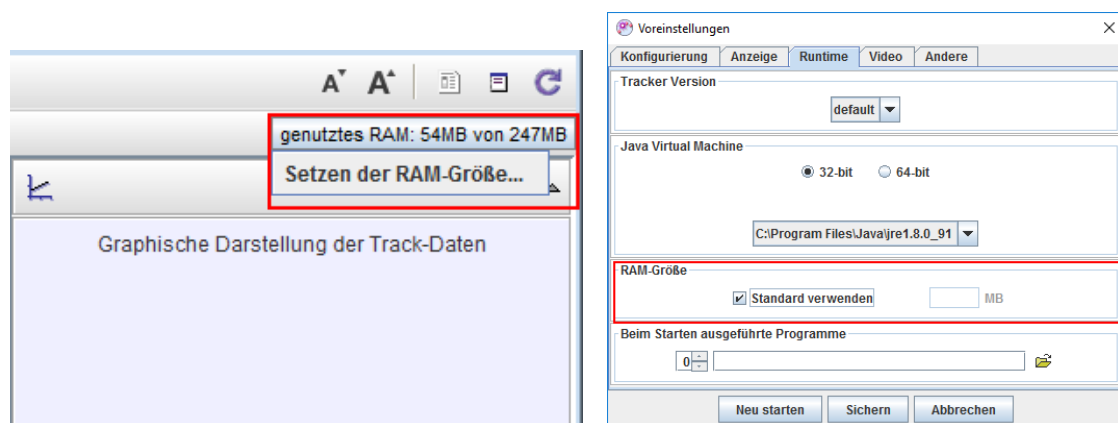


Abbildung 2.1-4.Video-Engine Voreinstellungen

### 2.1.3 Speichereinstellungen

Standardmäßig benutzt Tracker abhängig von der Hardware-Konfiguration des Rechners nur einen Teil des verfügbaren Speichers (Minimum 64 MB des verfügbaren Speichers). Voluminöse Bilder und große Videoclips, die in Tracker geöffnet werden, können schnell den für Tracker reservierten Speicher voll belegen. Das kann zur Verlangsamung bis zum Einfrieren des Programms führen. Der Anwender sollte die Speicherbelegung daher stets im Blick behalten. Hierfür ist die in der Symbolleiste (rechts) eingebaute Anzeige des Speichers gedacht (Abbildung 2.1-5a). Der Text wird rot gefärbt, wenn der Speicherverbrauch sich dem aktuellen Limit nähert. Beim Anklicken (Abbildung 2.1-5a) des Textes öffnet sich das Dialogfenster „Voreinstellungen Dialog“ (Abbildung 2.1-5b), in dem die reservierte Speichergröße angepasst werden kann. Wenn genügend freier Speicher auf dem Rechner zur Verfügung steht, empfiehlt es sich, das für Tracker reservierte Speichervolumen zu erhöhen. Dies geschieht durch das Entfernen des Häkchens bei RAM-Größe „Standard verwenden“. Anschließend ist die neue Speichergröße in MB manuell einzugeben.



a) Tracker Speicheranzeige

b) Tracker Speichereinstellungen

Abbildung 2.1-5. Speichereinstellungen

## 2.2 Tracker Fenster und Bedienelemente

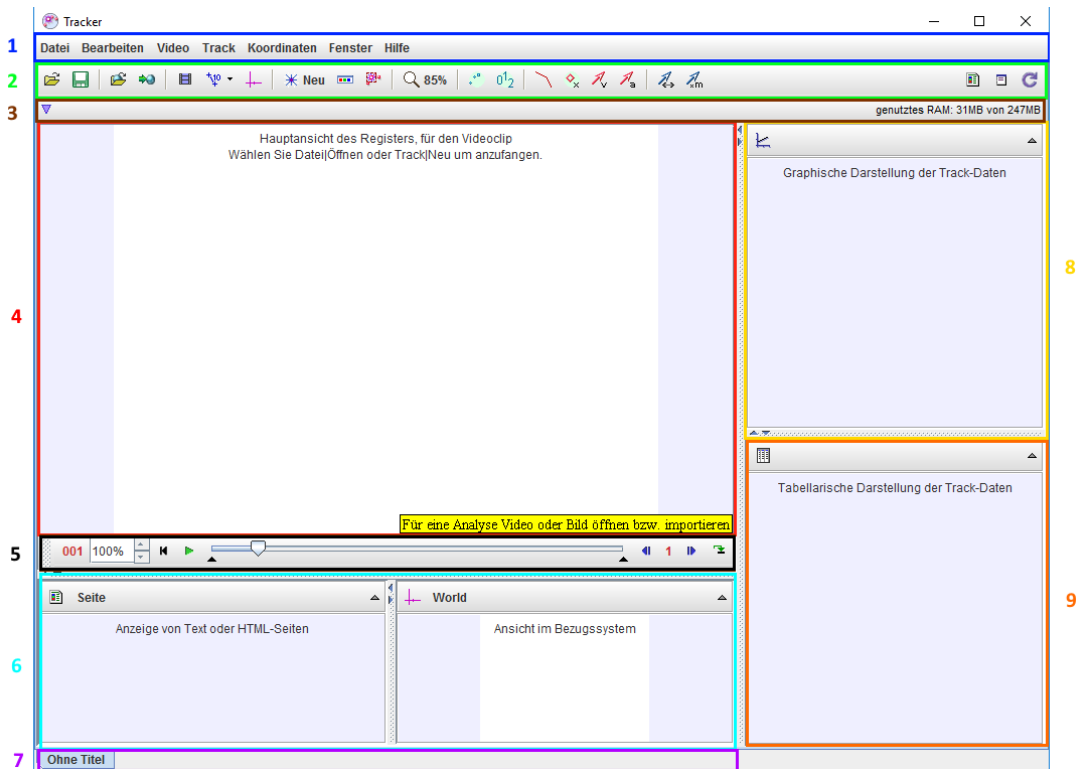



Abbildung 2.2-1.Tracker Oberfläche und Bedienelemente

Beim Starten von Tracker öffnet sich die in Abbildung 2.2-1 dargestellte Benutzeroberfläche. Wie bereits erwähnt, versucht Tracker viele Aspekte der Videoanalyse abzudecken, entsprechend groß ist die Palette an Funktionen sowie die Komplexität der Bedienelemente. Man sollte sich davon nicht erschrecken lassen. Tracker ist sehr sinnvoll strukturiert und benutzerfreundlich gestaltet, sodass es in der Regel nicht allzu viel Zeit in Anspruch nehmen wird, bis man sich als Nutzer mit den Bedienelementen vertraut gemacht hat.

Die interaktive Benutzeroberfläche von Tracker ist als Multi-Karteireiter konzipiert. Alle sichtbaren Elemente der Benutzeroberfläche sind Bestandteil eines Projekt-Karteireiters (Abbildung 2.2-1/7 - violetter Bereich). Zu einer Tracker-Projektdatei gehören Menüs, Symbolleisten, verschiedene Ansichtsfenster usw. Die Anpassungen können für jedes Projekt im Projektfile mitgespeichert werden. Dabei können mehrere Projekte/Karteireiter gleichzeitig geöffnet werden. Beim Karteireiterwechsel ist zu beachten, dass sich auch Menüs/Symbolleisten ändern können.

Wie die meisten Programme mit einer interaktiven Benutzeroberfläche verfügt Tracker über eine Menüleiste, auf der die meisten Funktionen und Einstellungen zu finden sind

(Abbildung 2.2-1/1 - blauer Bereich). Die statische Symbolleiste (Abbildung 2.2-1/2-grüner Bereich) bietet die wichtigsten bei der Videoanalyse benötigten Werkzeuge an. Die dynamische Symbolleiste (Abbildung 2.2-1/3 - brauner Bereich) ändert sich während des Analysevorgangs je nach verwendeter Funktion und bietet einen Schnellzugriff auf Daten und Elemente des Analysevorgangs. Das Videoansichtsfenster (Abbildung 2.2-1/4 - roter Bereich) dient der Anzeige des zu untersuchenden Videoclips oder der Bilderserie sowie der zur Videoanalyse gehörenden Elemente wie Tracks, Modelle, Bezugssystem, Maßstäbe usw. Direkt darunter befindet sich die Navigationsleiste (Abbildung 2.2-1/5 - schwarzer Bereich) des Videoplayers für das Abspielen des Videoclips und den direkten Zugriff auf die zu analysierenden Einzelbilder. Der türkisfarbene Bereich in Abbildung 2.2-1/6 ist standardmäßig nicht sichtbar. Dieser Bereich kann über *Menü =>Fenster=>Unteres Fenster* sichtbar gemacht werden. Alternativ kann durch das Ziehen der Leiste () per Mauszeiger nach oben oder nach unten der Bereich entsprechend verkleinert und vergrößert werden. Im unteren Fenster werden zwei Ansichtsfenster angezeigt:

Im linken Ansichtsfenster „Seite“ können HTML- oder Textbeschreibungen für das Projekt hinzugefügt oder angezeigt werden.

Das rechte Ansichtsfenster „World“ dient der Darstellung der Videoansicht inklusive Analysedaten wie Tracks in einem Bezugssystem.

Zwei weitere Ansichtsfenster werden rechts in Tracker angezeigt (Abbildung 2.2-1/7&8):

Die grafische Darstellung der Trackdaten (Abbildung 2.2-1/8 - gelber Bereich) zeigt eine oder mehrere Grafiken basierend auf den Analyse-/Trackdaten.

Die Tabellendarstellung (Abbildung 2.2-1/9 - orangener Bereich) stellt die Analyse-/Trackdaten tabellarisch dar. Die vier Ansichtsfenster (Abbildung 2.2-1/6(links & rechts)/8/9) haben keine festen Inhalte. Diese Positionen sind als Container zu sehen, deren Inhalt jederzeit umkonfiguriert werden kann. Die beschriebenen Positionen entsprechen nur den Initialpositionen, können jedoch projektabhängig durch Anklicken des Ansichtssymbols in der oberen linken Ecke des Ansichtsfensters (Abbildung 2.2-2) angepasst werden. Damit können jeder Benutzerwunsch und jedes Projektbedürfnis flexibel befriedigt werden.

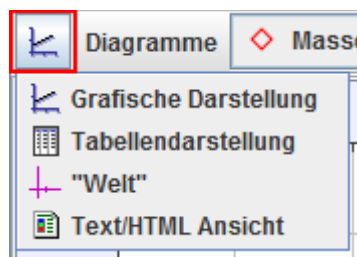



Abbildung 2.2-2. Konfiguration von Ansichtsfenstern

Durch das Anklicken der kleinen Pfeile  am Anfang der Bereichs-Trennlinien können die verschiedenen Bereiche maximiert – oder falls sie nicht gebraucht werden und stören – minimiert werden. Diese Möglichkeit dient der besseren und einfacheren Übersicht während der Arbeit oder bei Demovorführungen.

## 2.3 Videoansicht und Videoplayer

Der Videoplayer wird durch die in Abbildung 2.3-1 dargestellten Bedienelemente gesteuert.

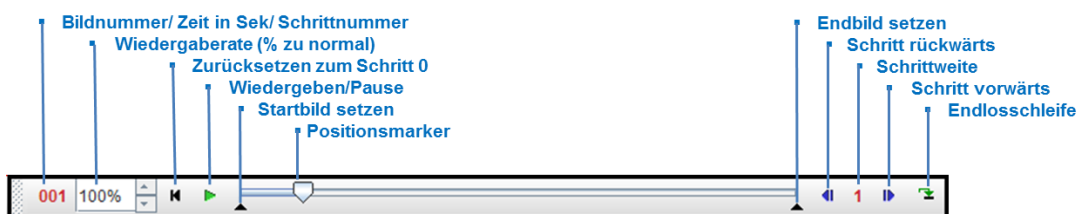


Abbildung 2.3-1. Videoplayer

Die Positionsanzeige (Position des Positionsmarkers in Abbildung 2.3-1 kann in Bildnummern, Zeit oder Schrittnummern angezeigt werden. Die Änderung erfolgt durch Klicken auf die Positionsanzeige (Abbildung 2.3-2).

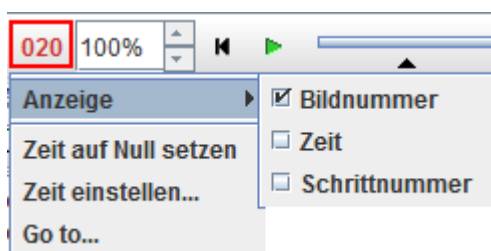


Abbildung 2.3-2. Optionen der Positionsanzeige

Durch Verschieben des Positionsmarkers in der Zeitleiste können beliebige Stellen des Videos angesprungen werden. Mit der linken Cursortaste kann um einzelne Bilder zurück navigiert werden.

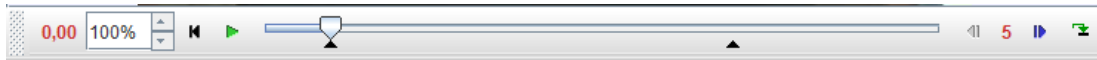


Abbildung 2.3-3. Intervall eingrenzen

Die Wiedergaberate kann direkt angepasst oder eine Wunschrate eingetippt werden. Somit ist ein schnelleres oder langsames Abspielen des Videoclips möglich.

Eine der wichtigsten Einstellungen vor der Analyse ist das Eingrenzen des Videoclips (falls dies nicht vorab geschehen ist) auf das zu untersuchende Zeitintervall. Dabei werden die unteren Marker (Abbildung 2.3-1 Start-/Endbild setzen) so verschoben, dass das eingegrenzte Intervall dem gewünschten Videoabschnitt entspricht (Abbildung 2.3-3). Weitere Optionen, die beim Eingrenzen helfen sollen, werden per rechtem Mausklick über die Zeitleiste (Abbildung 2.3-4) angeboten.

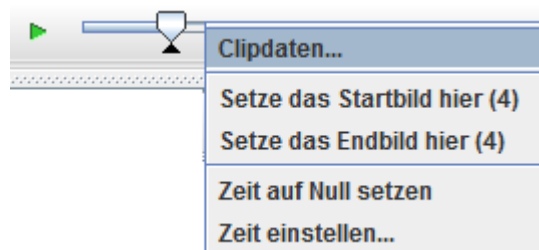


Abbildung 2.3-4. Optionen der Zeitleiste

**Tipp:** Der Videoplayer kann vom Videofenster entkoppelt und beliebig verschoben werden. Dazu muss auf den linken Rand des Players geklickt und dieser verschoben werden (rot markiert in Abbildung 2.3-5).



Abbildung 2.3-5. Videoplayer bewegen

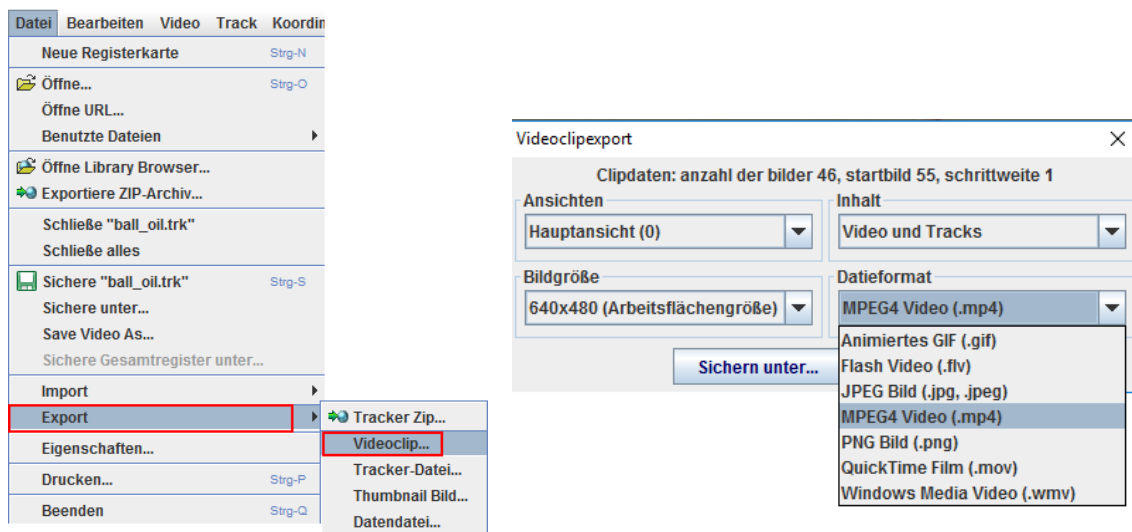
### 2.3.1 Videos schneiden / exportieren

Tracker kann das aktuell in Videoansicht angezeigte Video als digitales Video, animiertes GIF oder als Bildersequenz (Abbildung 2.3-6b) über *Menü => Datei => Exportieren =>*

*Videoclip* (Abbildung 2.3-6a) exportieren. Damit bietet Tracker zudem Videokonvertierungsfunktionen. Exportierte Videos können auch übergelagerte Elemente der Videoanalyse wie Tracks, Filter usw. beinhalten (Abbildung 2.3-6b). Dadurch können die Ergebnisse der Videoanalyse direkt in den exportierten Videoclips angeschaut werden. Außerdem können Videos mit 30 BpS Halbbildern in 60 BpS Vollbildvideos konvertiert werden, was die zeitliche Auflösung bei gleichzeitigem Halbieren der vertikalen Auflösung verdoppelt.

In der Regel sollte das Video geschnitten werden, um Speicherplatz zu sparen und ein leichteres Navigieren zu ermöglichen. Am komfortabelsten gestaltet sich das Schneiden des Videos durch Verschieben der Start- und Endmarker (Abbildung 2.3-1) unter Beobachtung des sich verändernden Videobildes.

Beim Exportieren in Tracker wird somit nur der durch die Start- und Endmarker eingegrenzte Abschnitt unter Berücksichtigung der eingestellten Schrittweite und nicht der gesamte Videoclip exportiert. Somit kann in Tracker auch ein Videoclip geschnitten werden, ohne dass der Einsatz entsprechender externer Software erforderlich ist.



a) Videoclip Export Menüpunkt

b) Videoclip Export-Funktionen

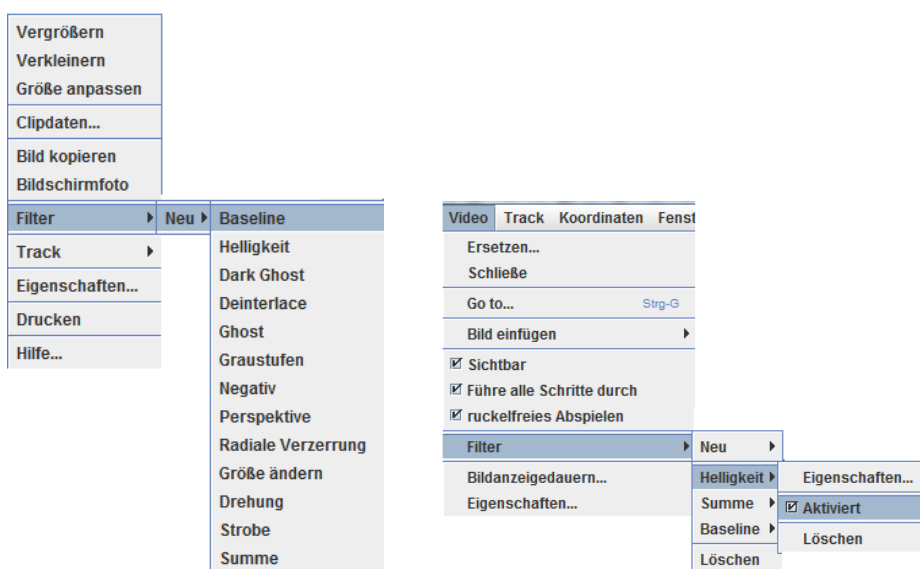
Abbildung 2.3-6. Video Export/Schnitt

### 2.3.2 Video Filter-Funktionen

Wie im Kapitel „Videoaufnahme“ bereits angedeutet, sollten beim Aufnehmen von Videoclips zwecks Videoanalyse gewisse Regeln beachtet werden, um brauchbare Video-

clips herstellen zu können. Manche der erwähnten Fehler wie Verzerrungen, Belichtungsfehler, Kamerapositionsfehler usw. bedürfen einer nachträglichen Bearbeitung des Videoclips, um diese korrigieren zu können. Die von Tracker angebotenen Filterfunktionen bieten für viele dieser Fälle eine integrierte Bearbeitungsmöglichkeit. In der gleichen Videoansicht können somit Filteranpassungen vorgenommen und das Ergebnis direkt anhand der Analyseergebnisse überprüft werden.

Durch Video-Filterfunktionen kann der Videoclip modifiziert werden, sodass eine Verbesserung der Qualität der Videoanalysedaten erzielt werden kann. Platziert man den Cursor über dem Videoclip in der Videoanzeige und klickt dann auf rechts, öffnet sich ein Menüfenster. Klickt man auf die Menüleiste Filter, so öffnet sich ein weiteres Fenster, in dem schließlich alle Filteroptionen angezeigt werden (Abbildung 2.3-7a).



a) Tracker Filter

b) Filtereigenschaften

Abbildung 2.3-7. Filterfunktionen

Über die Menüpunktfolge *Video=>Filter=>Filtername* (Abbildung 2.3-7b) können die Filtereigenschaften angepasst sowie der Filter aktiviert/deaktiviert oder gelöscht werden.

Folgende Funktionen bietet die aktuelle Tracker-Version an:

**Bildverbesserungsfunktionen:** Helligkeit/Kontrast (Abbildung 2.3-8), Deinterlace.

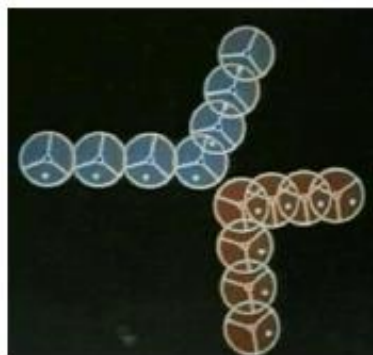
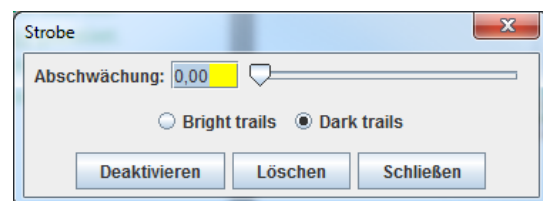




Abbildung 2.3-8. Filter: Helligkeit und Kontrast

**Bildeffekte:** Strobe, Ghost, Dark Ghost, Graustufen, Negativ

- Der **Strobe-Filter** (Abbildung 2.3-9a) ist im Rahmen einer Videoanalyse oft sehr hilfreich. Dabei wird eine Spur durch mehrfaches Anzeigen des Objekts generiert (auch Stroboskopbild genannt). Dieser Effekt kann nur während des Videoabspielens oder bei schrittweiser Navigation generiert werden. Eine solche Darstellung eignet sich hervorragend, um Lernkonzepte wie Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu lehren. Abbildung 2.3-9b zeigt, wie die Filtereigenschaften bei Tracker aktiviert werden. Die Abschwächungsrate kann variiert werden. Ebenso kann zwischen hellen (brights trails) Objekten auf einem dunklen Hintergrund und umgekehrt gewählt werden.

a) Strobe Filter<sup>18</sup>

b) Strobe Filter: Eigenschaften

Abbildung 2.3-9. Filter: Strobe

- Der **Ghost Filter** verhält sich ähnlich zum Strobe-Filter im Fall von hellen Objekten auf einem dunklen Hintergrund. Der Unterschied ist der, dass die Objekte grauer und nicht in vollen Farben wie im Strobe-Filter dargestellt werden.
- Der **Dark Ghost Filter** ist ähnlich wie der Ghost Filter, nur dass hier dunkle Objekte auf einem hellen Hintergrund dargestellt werden.

<sup>18</sup> (Tracker Help, 2017, S. 30)

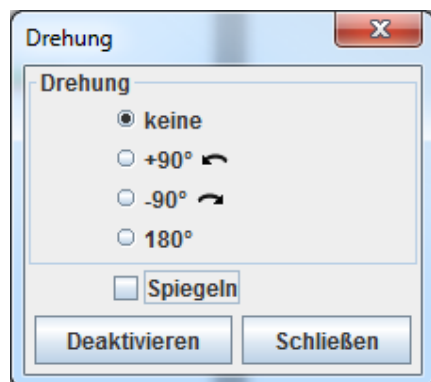
**Bildrauschen reduzieren:** Baseline, Summe/Durchschnitt

- **Baseline Filter.** Mit dem Baseline Filter kann ein Grundbild (Basisbild) vom Video subtrahiert werden. Wenn das Grundbild z. B. ein unveränderlicher Hintergrund ist, wird dieser aus dem Video entfernt und die Stelle bleibt schwarz. Das kann bei besonderen Analysearten wie Spektralanalyse-Experimenten sehr hilfreich sein.

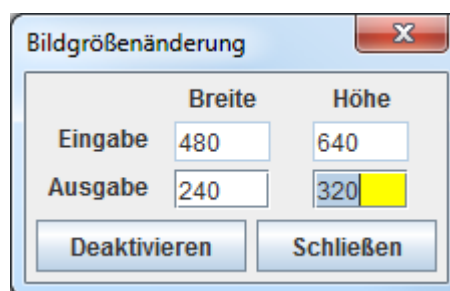
**Tipp:** Beim Entfernen des Hintergrundes hilft es, während des Experiments ein Bild vom Hintergrund (ohne den Rest) zu machen, um es später als Grundbild benutzen zu können.

**Bildtransformation:** Perspektive, radiale Verzerrung, Größe anpassen und Drehen

- Bildtransformationen sind sehr oft notwendig. Die Standardfunktion **Drehen** des Videos kann über die Menüleistenfolge *Filter => Neu => Drehung* (Abbildung 2.3-10a) sehr unkompliziert erzielt werden. Ähnlich lässt sich die Videogröße anpassen (Abbildung 2.3-10b). So können in kurzer Zeit Videos mit geringerem Platzbedarf generiert werden, falls die kleinere Auflösung für die Videoanalyse ausreichend ist.



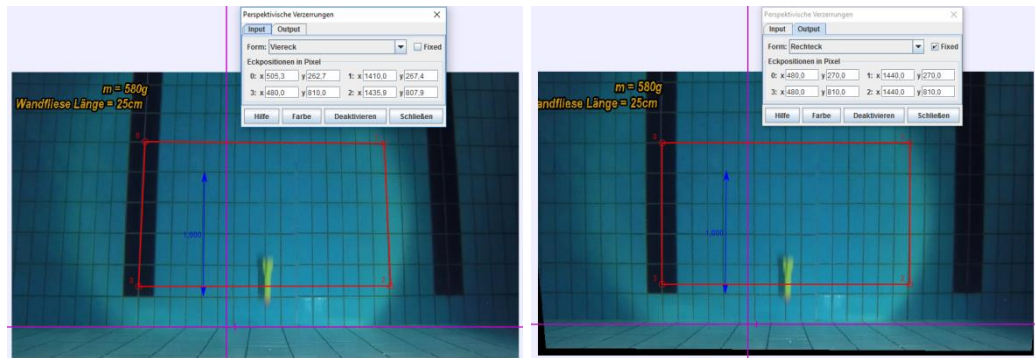
a) Filter Bilddrehung



b) Filter Bildgrößenänderung

Abbildung 2.3-10. Bildtransformation Filter

- Der Filter **Perspektivische Verzerrungen** kann entsprechende Verzerrungen korrigieren. Diese können entstehen, wenn z. B. die Kamera nicht senkrecht zur Bewegungsachse, sondern in einem anderen Winkel zu dieser positioniert wurde (Abbildung 2.3-11).

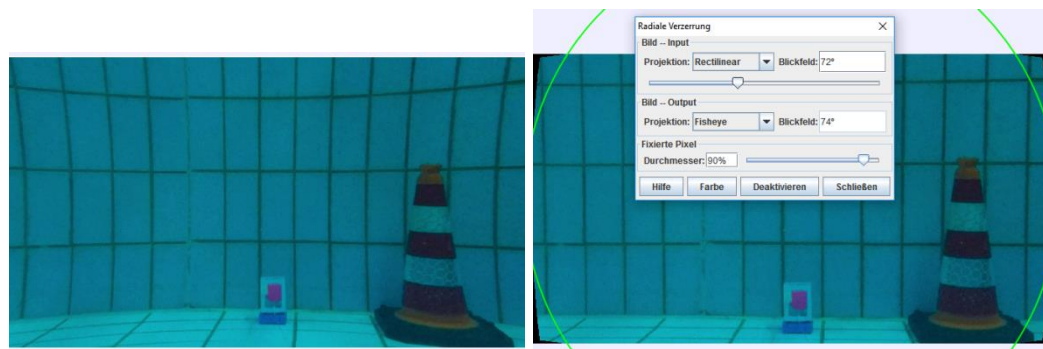


a) Vorher

b) Nachher

Abbildung 2.3-11. Filter Perspektivische Verzerrungen

- Wie der Name impliziert, können mit dem Filter **Radiale Verzerrungen** entsprechende Verzerrungen nachträglich eliminiert werden. Ein sehr bekannter Anwendungsfall ist das Entfernen des Fischaugeneffekts (Fisheye Effect), der aus der in vielen Actionkameras wie GoPro eingebauten Linsenverzerrung resultiert (Abbildung 2.3-12).



a) Vorher

b) Nachher

Abbildung 2.3-12. Filter Radiale Verzerrung

## 2.4 Menü- und Symbolleisten

Fast alle Funktionen der Menüleisten lassen sich je nach Vorliebe über die Menü- oder die Symbolleiste aufrufen. Wenige Funktionen können nur über die Menüleiste aktiviert werden. In der Symbolleiste (Abbildung 2.4-1) sind die Symbole für den Schnellzugriff auf die wichtigsten Funktionen während der Videoanalyse untergebracht. Die Anordnung der Symbole entspricht der Reihenfolge des Analyseprozesses.

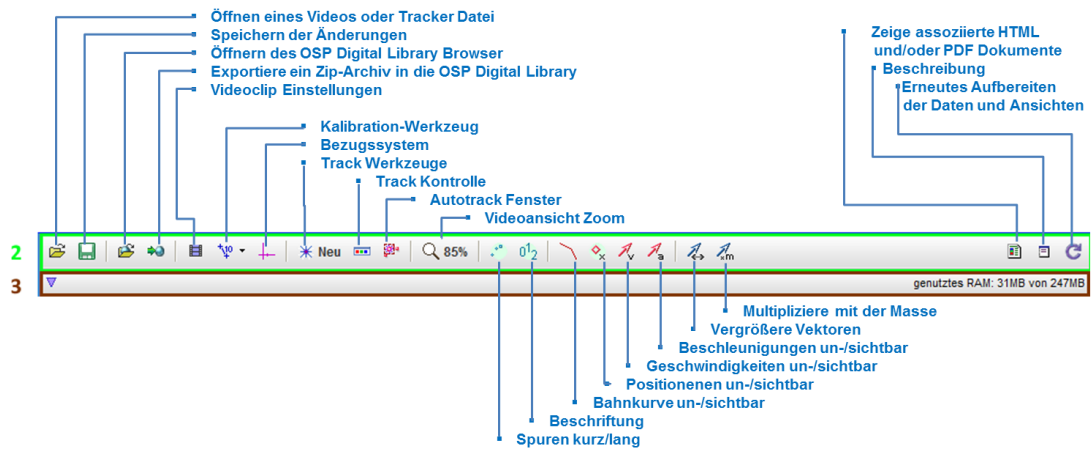




Abbildung 2.4-1. Tracker Symbolleisten


### 2.4.1 Das Öffnen von Videos und Tracker-Projekten

Das Öffnen von Videos oder Tracker-Dateien  bildet meist den Einstiegspunkt in die Videoanalyse mit Tracker. Videoclips wurden bereits mehrfach in dieser Arbeit beschrieben. Was aber genau sind Tracker-Dateien?


Ein Videoanalyseprozess startet mit einem Analyse-Objekt, meistens einem Videoclip. Im Verlauf kommen Analysedaten (Tabellen, Grafiken, Modellierungen, Beschreibungen, Screenshots usw.) hinzu. Des Weiteren kann der Anwender Ansichten umkonfigurieren, Menüs und Symbole ein- und ausblenden sowie Voreinstellungen ändern. Alle diese Daten und Informationen bilden zusammen eine Tracker-Projektdatei. Tracker-Dateien haben die Endung „.trk“ und werden über das „Speichern/Sichern“-Symbol  in der Symbolleiste angelegt. Dabei wird der zur aktuellen Analyse zugehörige Karteireiter samt Einstellungen in einer neuen Tracker-Projektdatei gespeichert.

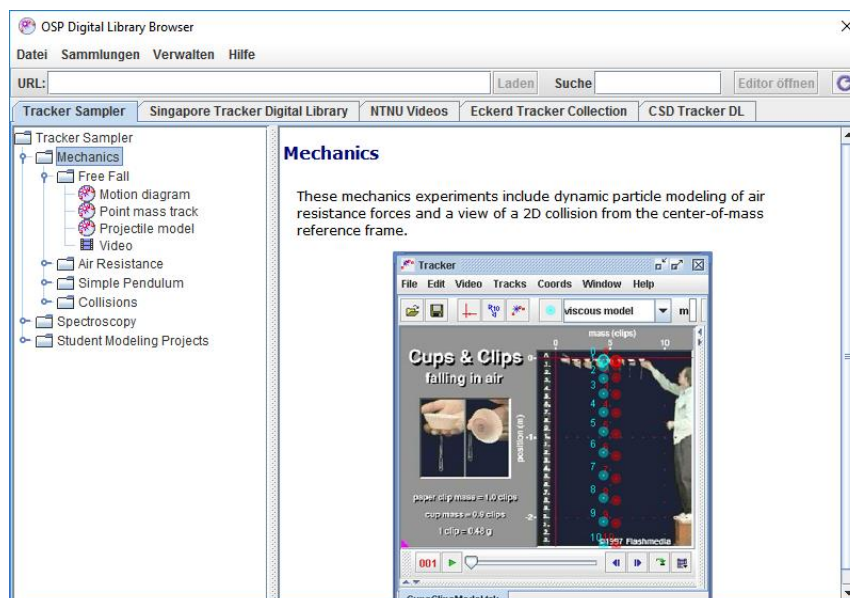
### 2.4.2 Open Source Physics Digital Library

Der Open Source Physics (OSP) Digital Library Browser ermöglicht das Durchsuchen, Organisieren und Zugreifen auf lokale oder Web-basierte Sammlungen mit Videos und Tracker-Experimenten. Dies können eigene oder öffentliche Web-Sammlungen sein. Auf diesem Weg können eigene Tracker-Projekte mit anderen geteilt werden. Ebenso ermöglicht der OSP Digital Library Browser den Zugriff auf viele online verfügbare Tracker-Projekte. Das Öffnen des Browsers geschieht über das Anklicken des entsprechenden

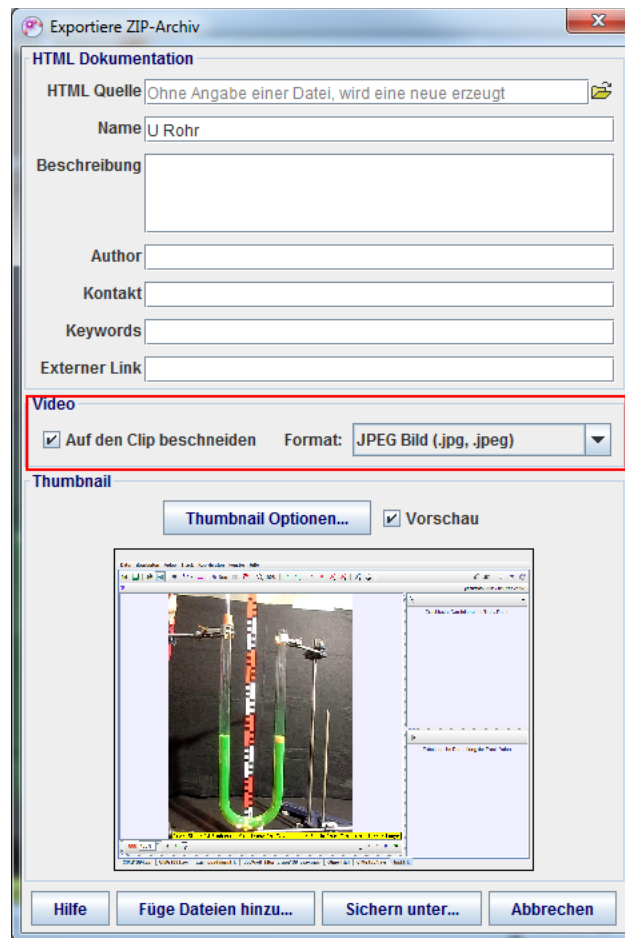
Browserordner-Symbols  in der Symbolleiste oder in der Datei-Menüleiste. Das Teilen, Weiterleiten und Hochladen von Tracker-Experimenten in einer Online-Sammlung wird durch die Export-Funktion von Tracker realisiert.

### 2.4.3 Exportdialog

Der Exportdialog wird durch das Symbol  geöffnet (Abbildung 2.4-2b). In diesem Dialogfenster können Experiment- und Autordaten eingegeben werden. Anschließend wird daraus eine HTML-Beschreibung generiert. Ein Screenshot des Experiments wird automatisch erstellt. Außerdem können weitere Dateien und Informationen zum Archiv hinzugefügt werden. Beim Exportprozess wird aus den eingegebenen Daten und Rohdaten des Experiments (wie Videoclip, Tracker-Datei) eine komprimierte Tracker-Zip-Datei mit der Endung (.trz) erzeugt. Dabei ist zu beachten, wie der Videoclip exportiert wird. Die Option „auf den Clip zuschneiden“ bestimmt, ob das Video in Originallänge exportiert wird oder auf die Analyseeingrenzung inklusive aller verwendeten Einstellungen (Filter, Drehungen) geschnitten wird. In dem Auswahlfeld „Format“ kann bestimmt werden, in welchem Format der Videoclip exportiert wird. Als Standardeinstellung ist die JPEG-Bilderserie gespeichert, weil diese überall von Tracker direkt geöffnet werden kann, ohne dass eine Video-Engine benötigt wird.




a)Tracker OSP Anzeige



b) Tracker Export Dialog

Abbildung 2.4-2. Tracker OSP Browser und Export Dialog

### 2.4.4 Clip-Einstellungen

Die Clip-Einstellungen (Abbildung 2.4-3, links) können über das Symbol  überprüft und angepasst werden. Dies sollte sinnvollerweise nach dem Öffnen eines Videoclips in Tracker erfolgen. Definiert werden können das Start- und Endbild des Analysevorgangs sowie die Schrittweite. Die Überprüfung und Einstellung der echten Bildrate des Videoclips ist vor allem bei Hochgeschwindigkeitsvideos sehr wichtig (siehe Abbildung 2.4-3, links). Zeigt der bearbeitete Videoclip nur ca. 30 Bilder/Sekunde, obwohl das original aufgenommene Material über ca. 120 Bilder/Sekunde verfügt (Abbildung 2.4-3, rechts), so muss dies angepasst werden, damit die Zeit zwischen den Bildern korrekt wird.

**Tipp:** Wenn das Video etwas länger ist und mehr als ca. 20 Bilder enthält, könnte der schrittweise Ablauf/die Navigation eintönig werden. Das Erhöhen der Schrittweite könnte hier Abhilfe verschaffen.

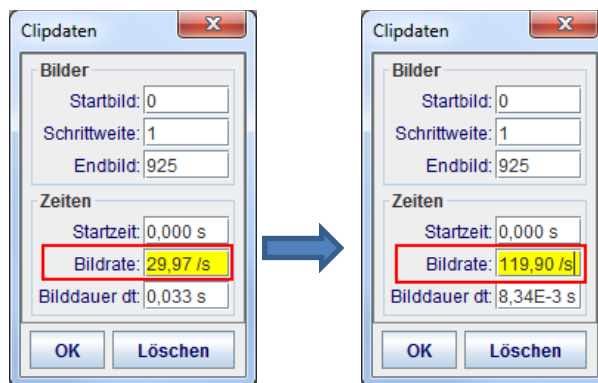



Abbildung 2.4-3.Tracker Clip-Einstellungen

## 2.4.5 Kalibrierungswerkzeuge

Kalibrierungswerkzeuge (Abbildung 2.4-4a/b) können über das Symbol  => *Neu* dem Tracker-Projekt hinzugefügt werden.



a) Hinzufügen von Kalibrierungswerkzeugen    b) Im Projekt hinzugefügte Kalibrierungswerkzeuge

Abbildung 2.4-4. Kalibrierungswerkzeuge hinzufügen

Der **Kalibrierungsmaßstab** und das **Kalibrierungsmaßband** sind die am meisten verwendeten Werkzeuge, um die Skalierung eines Videoclips zu eichen, d. h. die Größen in einem Videoclip mit den realen Größen der Objekte in Verbindung zu setzen. Die Länge eines Bildelementes wird markiert und die dazugehörige reale Größe dieses Elements eingetragen. Der Unterschied zwischen einem Kalibrierungsmaßstab und Kalibrierungsmaßband besteht in dem Verhalten der realen Länge, wenn ein Ende gezogen wird.

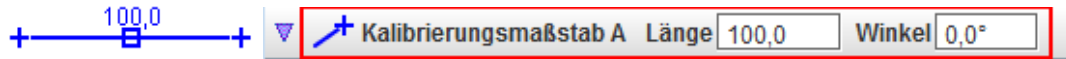
Beim Kalibrierungsmaßstab (Abbildung 2.4-5b) bleibt die eingetragene reale Länge konstant, wenn die Enden des Maßstabes gezogen/umpositioniert werden. Dadurch wird die Videoskala verändert.



Bei Anpassung der Endpunkte eines Kalibriermaßbandes (Abbildung 2.4-5a) ändert sich die reale Länge, sodass die Videobildskala fixiert bleibt.



a) Tracker Kalibrierungsmaßband



b) Tracker Kalibrierungsmaßstab

Abbildung 2.4-5. Kalibrierungswerkzeuge

Die reale Länge des Kalibrierungsmaßstabs/-bandes kann auch direkt durch das Anklicken der Nummernzahl (Abbildung 2.4-6a) über die Linie angepasst werden. Dies ist gleichwertig mit der Änderung des entsprechenden Längensfeldes in der dynamischen Symbolleiste (Abbildung 2.4-5b). Eine Verschiebung des Maßstabes, ohne die Länge zu ändern, kann durch das Selektieren mit der Maus in der Mitte und anschließendem Ziehen erreicht werden (Abbildung 2.4-6b).



a) Anpassung der realen Länge



b) Maßstab Verschiebung

Abbildung 2.4-6. Anpassung und Verschiebung der Kalibrierungswerkzeuge

Ein Kalibrierungsmaßstab oder -band kann auch verwendet werden, um ungewollte Neigungen im Videobild, die z. B. durch Schiefpositionierung der Kamera entstanden sind, zu korrigieren. Die Winkelangabe in Abbildung 2.4-5a und b dient zu diesem Zweck. Wenn der Korrekturwinkel bekannt ist, kann dieser eingetragen werden (Abbildung 2.4-7a). Dabei wird die x-Achse des zugrunde liegenden Koordinatensystems in dem bekannten Winkel gedreht. Meistens ist jedoch der Winkel nicht bekannt, er kann aber mithilfe von Elementen im Bild, die in der realen Welt z. B. horizontal sind, identifiziert werden. Durch Ziehen der Enden des Kalibrierungsmaßstabes kann dieser parallel zu dem identifizierten Objekt positioniert werden. Dann wird in die Winkeleingabemaske ein Null-Winkel eingetragen (Abbildung 2.4-7b). Dadurch wird sich das zugrunde liegende Koordinatensystem zu der neu festgelegten Horizontallinie ausrichten.



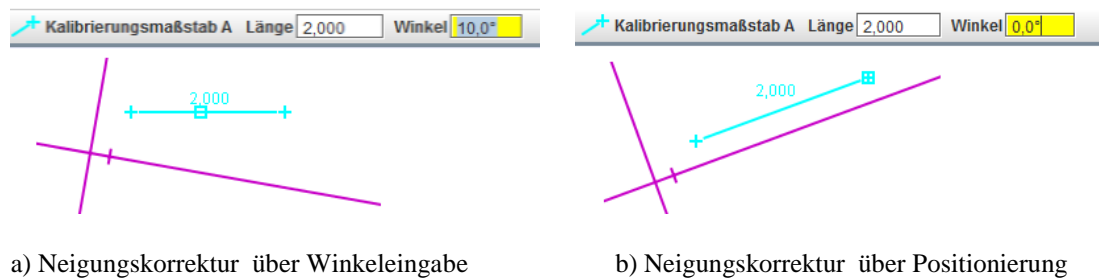


Abbildung 2.4-7. Neigungskorrektur

Standardmäßig hat ein Kalibrierungsmaßstab oder -band eine feste Position in allen Bildern des Videoclips („fixiert“). Die Position kann jedoch wie in der nachfolgenden Abbildung 2.4-8 ersichtlich geändert werden, indem das Häkchen vor „fixiert“ entfernt wird. Dadurch würde die Position in jedem Bild variieren.

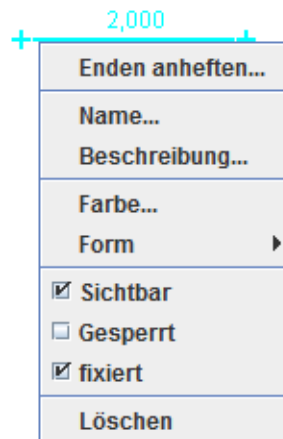


Abbildung 2.4-8. Optionen der Kalibrierungswerkzeuge

Des Weiteren können die Kalibrierungswerkzeuge über die Eigenschaften (Abbildung 2.4-8) gesperrt werden, was ein ungewolltes Verändern des Maßstabes verhindern kann.

Tracker bietet noch zwei weitere Kalibrierungswerkzeuge an:

- Die **Ursprungsverschiebung** (Offset/Ursprung) (Abbildung 2.4-4a). Dabei kann ein benutzerdefinierter Punkt im Bild mit festen Koordinaten in Bezug auf das Koordinatensystem des Videos festgelegt werden (Abbildung 2.4-9). Wenn der Ursprung im Bild verschoben wird, bewegt sich das Koordinatensystem mit, um die zugewiesene Verschiebung des Ursprungs beibehalten zu können.

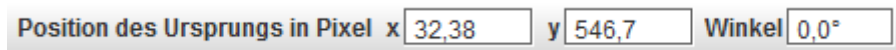


Abbildung 2.4-9. Kalibrierungswerkzeug: Ursprungsverschiebung

- **Kalibrierungspunkte** (Abbildung 2.4-4a). Dabei können mehrere Paare von Kalibrierungspunkten hinzugefügt werden. Durch die *Tastenkombination* „*Umschalt+Klicken*“ können die Punkte im Video festgelegt werden (Abbildung 2.4-10). Dabei können die Punkte auch für nur eine Achse des Koordinatensystems festgelegt werden. Das Bewegen des Punktes in die Richtung der anderen Achse hat keinen Effekt. Dies kann hilfreich sein, wenn eine Achse unwichtig oder unbekannt ist (Beispiel: Experimente mit senkrechten Bewegungsabläufen).

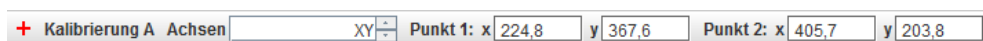



Abbildung 2.4-10. Kalibrierungswerkzeug: Kalibrierungspunkte

## 2.4.6 Das Koordinatensystem

Das Koordinatensystem-Tool  ermöglicht die Anzeige und das Verstecken des Koordinatensystems in der Videoansicht. Die Videoclips stellen real gefilmte Objekte dar, daher besitzen Objekte innerhalb eines Videoclips auch reale Koordinaten (auch Weltkoordinaten genannt). Das Koordinatensystem dient damit der Umwandlung von Bildpositionen (definiert durch Pixel-Koordinaten) in reale-/Weltkoordinaten. Die realen Koordinaten werden in umgerechneten Einheiten (z. B. Meter) dargestellt. Die Umrechnung bezieht den bereits über die Kalibrierungswerkzeuge festgelegten Maßstab ein.

Für jedes einzelne Bild des Videoclips definiert das Koordinatensystem:

- den Koordinatensystem-Ursprung.
- das Größenverhältnis/die Skalierung (Bildpunkte pro reale Einheit).
- den Winkel (im Uhrzeigersinn gemessene Winkel zwischen der x-Achse im Bild und der x-Achse in der realen Welt).

Diese Eigenschaften des Koordinatensystems (Ursprung, Größenverhältnis, Winkel) sind standardmäßig festgelegt (Abbildung 2.4-11). Über den Menüpunkt „Koordinaten“ ist es aber jederzeit möglich, die Eigenschaften des Koordinatensystems zu ändern. Die Position und die Eigenschaften des Ursprungs, die festgelegt wurden, beziehen sich auf ein

Bezugsbild im Videoclip. Wenn diese „festgelegt“ sind, bedeutet das, dass sich auf allen weiteren Bildern des Videoclips diese Eigenschaften nicht ändern.



Abbildung 2.4-11. Eigenschaften des Koordinatensystems

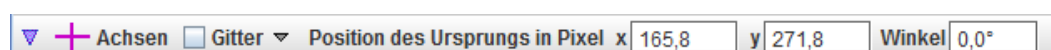
Über den Menüpunkt „Bezugssystem“ (Abbildung 2.4-11) kann z. B. geändert werden, dass sich der Ursprung mit der definierten Punktmasse oder dem Schwerpunkt bewegt. Dies kann insbesondere bei Zusammenstoß-Experimenten hilfreich sein. Über den Menüpunkt „Koordinaten“ kann die Winkeleinheit zwischen Grad und Bogenmaß angepasst werden.

Nach dem Einfügen eines Koordinatensystems in das Projekt wird dies in der dynamischen Symbolleiste angezeigt (Abbildung 2.4-12a). Die Koordinaten des Ursprungs und der Winkel können dort angepasst werden. Der Ursprung des Koordinatensystems kann beliebig innerhalb oder außerhalb eines Bildes gewählt und verschoben werden. Dazu muss der Ursprung mit der Maus selektiert (Abbildung 2.4-12b) und verschoben werden.

Die positive x-Achse des Koordinatensystems ist mit einem kleinen vertikalen Strich neben dem Ursprung (Abbildung 2.4-12b) markiert. Grundsätzlich kann immer ein Hilfsgitter angezeigt werden, wie in Abbildung 2.4-12c dargestellt.

Eine Drehung des Koordinatensystems kann durch Selektieren und Verschieben der x-Achse mit der Maus nach oben oder unten erzielt werden (Abbildung 2.4-12c).

**Tipp:** Wenn man dabei noch die Umschalttaste festhält, werden die Winkelveränderungsschritte auf 5 Grad beschränkt.



a) Koordinatensystem in der dynamischen Symbolleiste

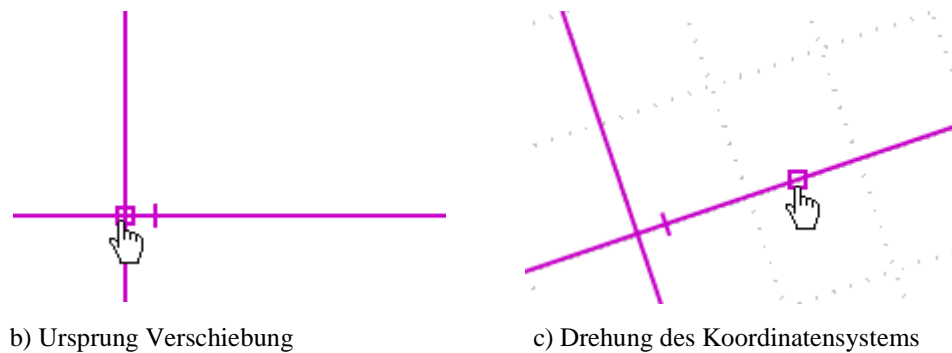


Abbildung 2.4-12. Das Koordinatensystem

Mit einem rechten Mausklick über dem Koordinatensystem erhält man Zugriff auf weitere Darstellungseigenschaften des Koordinatensystems (Abbildung 2.4-13).

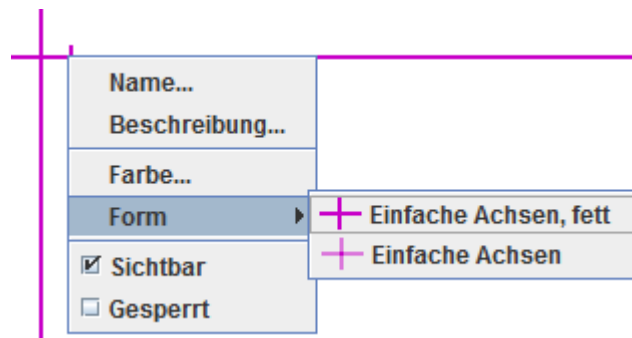



Abbildung 2.4-13. Weitere Eigenschaften des Koordinatensystems

**Tipp:** Nach dem Festlegen des Ursprungs und weiteren Eigenschaften des Koordinatensystems empfiehlt sich das Sperren (Abbildung 2.4-13 Menüpunkt: Gesperrt), um ein ungewolltes Verschieben zu verhindern.

### 2.4.7 Die Punktmasse

Über das Anklicken des Symbols  in der Symbolleiste können weitere Analyse-schritte unternommen werden (Abbildung 2.4-14). Das Definieren einer Punktmasse oder des Schwerpunktes sind die üblichen Folgeschritte.

Die Punktmasse in Tracker bezieht sich auf die physikalische Idealisierung eines realen Körpers. Dabei wird die Masse des Körpers in einem Punkt – seinem Schwerpunkt – vereinigt dargestellt.



Abbildung 2.4-14. Symbolleistenfunktion Neu

Eine neu hinzugefügte Punktmasse erhält erstmals eine willkürliche (ohne Einheit) Standardmaße von 1.0 (Abbildung 2.4-15). Hier kann für spätere Berechnungen die echte Masse eingetragen werden.

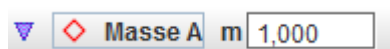


Abbildung 2.4-15. Die Punktmasse

### 2.4.8 Der Schwerpunkt

Der Schwerpunkt (Abbildung 2.4-14) ist in Tracker eine Ansammlung von Punktmassen. Die Masse des Schwerpunktes entspricht somit der Summe der Punktmassen (Abbildung 2.4-16b).



a) Definition und Position des Schwerpunktes SPkt A (Rot)

b) Masse des Schwerpunktes

Abbildung 2.4-16. Schwerpunkt

Der Schwerpunkt wird nicht markiert, sondern über die Masse und Position der zugehörigen Punktmassen bestimmt (Abbildung 2.4-16a).

Er wird in Tracker durch ein kleines, gefülltes Kreissymbol dargestellt, wobei die Farbe des Kreises geändert werden kann.

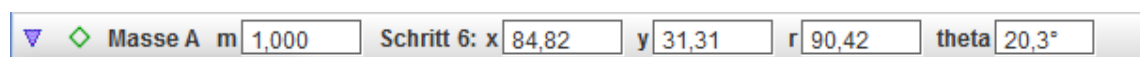
Der Schwerpunkt wird in Tracker als eigene Punktmasse mit Bahnverlauf und in vektorieller Darstellung abgebildet.

### 2.4.9 Manuelles Tracking

Grundsätzlich sollten vor dem Start der Videoanalyse die Start- und Endmarke sowie die Schrittweite an das Video angepasst werden, um unnötige Markierungsschritte zu vermeiden. Die manuelle Analyse funktioniert bei Tracker wie folgt:

- *Tastenkombination* „Umschalt+Klicken“ drücken, um einen Markierungsschritt durchzuführen.
- *Tastenkombination* „Umschalt+Eingabe“ drücken, um eine Markierung an der gleichen Position wie im vorherigen Schritt durchzuführen.

Der Videoclip läuft nach der Markierung automatisch einen Schritt vorwärts, um den Markierungsprozess zu erleichtern. Jeder Schritt wird samt aller Positionierungsangaben in der dynamischen Symbolleiste angezeigt (Abbildung 2.4-17a). Die Position kann von dort aus über die Eingabefelder sehr genau korrigiert werden. Wird ein Markierungspunkt selektiert, erhält man über die rechte Maustaste weitere Optionen für die Darstellung und das Löschen der Markierungsschritte (Abbildung 2.4-17b).



a) Eigenschaften der Positionierung einer Markierung




b) Eigenschaften der Markierung

Abbildung 2.4-17. Markierungsschritte

**Tipp:** Das Heranzoomen kann im manuellen Markierungsprozess sehr hilfreich sein und die Treffgenauigkeit erhöhen.

### 2.4.10 Automatische Analyse – Autotrack

Wenn ein Objekt in allen Einzelbildern des Videoclips eine bestimmte Form, Größe, Farbe und Richtung hat und die in Kapitel 1.1 angeführten Videoaufnahmehinweise befolgt wurden, stehen die Chancen gut, dass sich der Videoclip schnell, einfach, exakt und automatisch über die Autotrack-Funktion von Tracker analysieren lässt. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, das Objekt in jedem einzelnen Bild manuell zu markieren. Wie bei der manuellen Analyse sollten auch hier Start- und Endmarke sowie die Schrittweite an das Video angepasst werden.

Über das Symbol  in der Symbolleiste lässt sich das Autotracker-Dialogfenster anzeigen und verstecken.

Die automatische Analyse (Autotrack-Funktion) ist ein komplexes Feature von Tracker. Als Grundlage für den Autotrack dienen eine oder mehrere Schablonen (Abbildung 2.4-18-2 - blauer Bereich), die von dem zu analysierenden Objekt generiert werden. Es wird nach der besten Übereinstimmung mit der Schablone in den Folgebildern gesucht. Die beste Übereinstimmung ist die mit der höchsten Übereinstimmungsgüte bzw. dem höchsten Zahlenwert (Score; Abbildung 2.4-19a), der sich antiproportional zu der Summe der Quadrate der RGB-Differenzen zwischen der Schablone und der Übereinstimmung verhält (Abbildung 2.4-18-2 - blauer Bereich). Standardmäßig passt sich die Schablone den Form- und Farbveränderungen in den Folgebildern an. Tracker benutzt dafür den

Begriff der Evolution. Die Anpassungsfähigkeit ist durch die „Evolutionsrate“ (Abbildung 2.4-18-3 - orangener Bereich) definiert. Eine Evolutionsrate von 0 % bedeutet, dass die Schablone konstant ist und sich mit der Zeit nicht anpasst. Im Gegenzug sagt eine Evolutionsrate von 100 % aus, dass die Schablone bei der nächsten Übereinstimmung komplett ersetzt wird. Hohe Evolutionsraten erlauben ein schnelleres Tracken von Veränderungen, können aber auch schnell zu ungewollten Verschiebungen der Schablone im Bild führen.<sup>19</sup>

Auch das Akzeptanzniveau der Schablone kann vom Anwender je nach Fall individuell eingestellt werden (Abbildung 2.4-18-3 - orangener Bereich). Während der automatischen Analyse wird die minimal definierte Übereinstimmungsgüte (Score) automatisch akzeptiert. Levels kleiner vier können vermehrt zu falschen Ergebnissen führen.<sup>19</sup>

Das Ziel (Abbildung 2.4-18-5 - schwarzer Bereich) markiert die Position, an der Übereinstimmungen zur Schablone gefunden wurden (Abbildung 2.4-19a&b). Der Zielpunkt (markiert mit einem Kreuz in Abbildung 2.4-20a) kann gegenüber der Schablone verschoben werden (Abbildung 2.4-20b). Dies geschieht durch das Ziehen des Kreuzes an eine neue Position. Die beiden Zielparameter Track & Punkt müssen vor dem Start des Autotracks festgelegt werden.

Das Einzelbild, in dem die Schablone und das assoziierte Ziel definiert werden, heißt bei Tracker „Key Frame“ (Schlüsselbild) (Abbildung 2.4-18-7 - brauner Bereich). Mindestens ein „Key Frame“ ist notwendig für den Autotrack-Prozess. Um plötzliche Schablonen-/Objektveränderungen im Autotrack-Prozess berücksichtigen zu können, müssen weitere „Key Frames“ an diesen Stellen hinzugefügt werden.

Während der automatischen Analyse wird bei einer guten Übereinstimmung (hohe Übereinstimmungsgüte; Abbildung 2.4-19a) mit der Schablone ein Punkt am Ziel direkt markiert. Ist die Übereinstimmung nur mittelmäßig, wird der Anwender von Tracker gebeten, eine Entscheidung zu treffen (Abbildung 2.4-19b).

---

<sup>19</sup> (Tracker Help, 2017, S. 55)



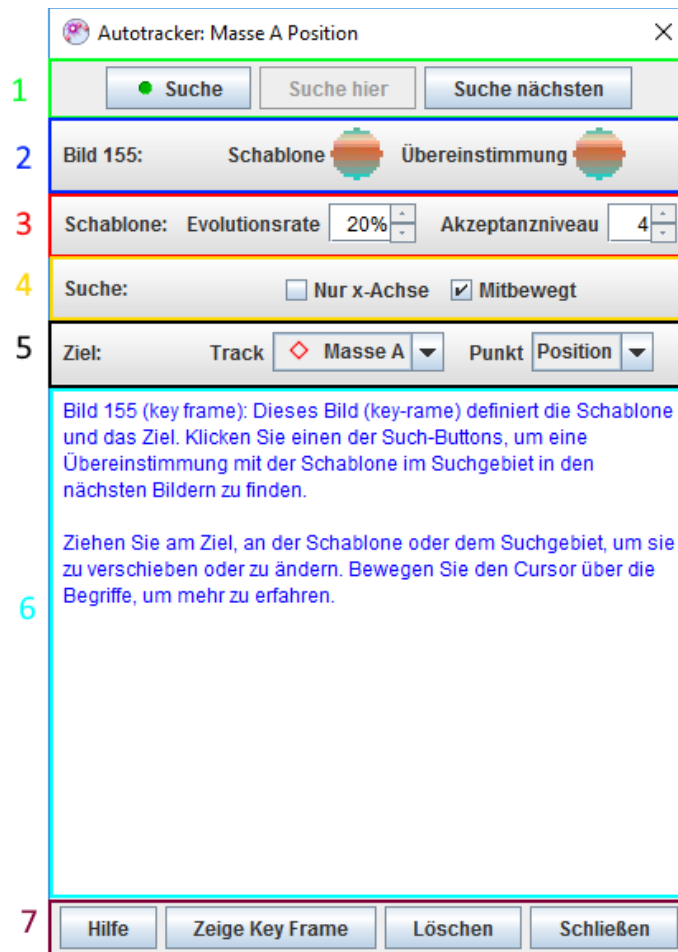
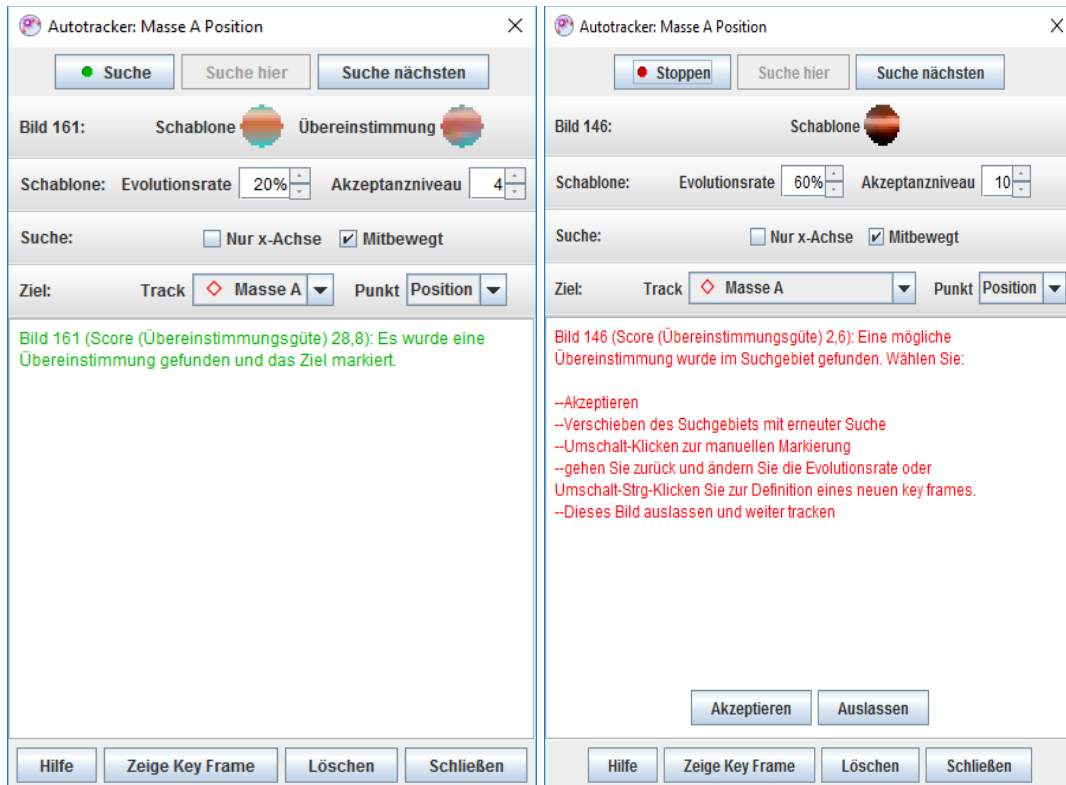


Abbildung 2.4-18. Autotracker Dialogfenster

Tracker gibt konkrete Anweisungen, was der Anwender grundsätzlich tun könnte. So könnte der Anwender z. B. das Suchgebiet oder die Evolutionsrate anpassen, manuelle Markierungen vornehmen, einen neuen „Key Frame“ festlegen oder einfach das Einzelbild auslassen. Der Prozess der Übereinstimmungssuche wird zusätzlich noch über einen Suchbereich eingeschränkt/festgelegt (Abbildung 2.4-20a). Wenn mindestens zwei Schritte erfolgt sind, werden die Geschwindigkeit und Beschleunigung der Punktmasse miteinbezogen, um die nächste Position vorherzusagen und den Suchbereich entsprechend festzulegen.

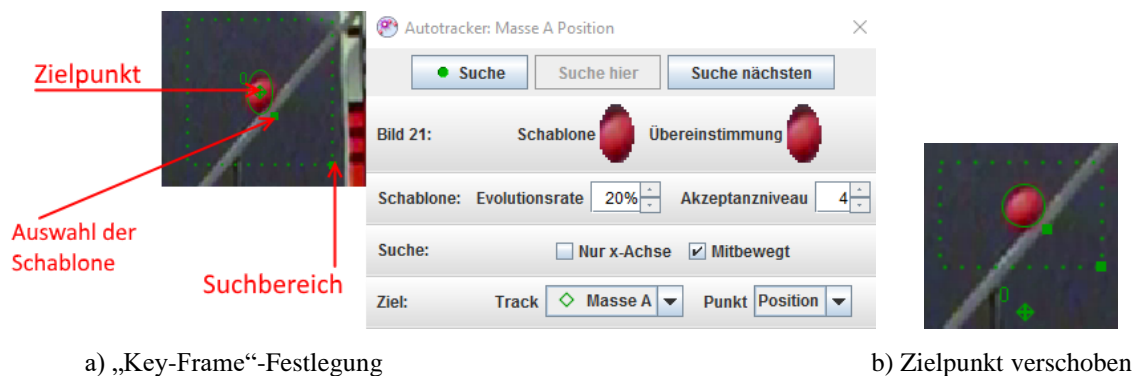


a) Hohe Übereinstimmungsgüte

b) Mittlere Übereinstimmungsgüte

Abbildung 2.4-19. Autotracker Übereinstimmungsgüte

Diese Eigenschaft der Suche wird als „mitbewegt“ (Abbildung 2.4-18 - 2 - gelber Bereich) bezeichnet. Ist diese Eigenschaft deaktiviert, wird der Suchbereich auf die vorherige Trefferposition verlegt. Auch der Suchbereich kann angepasst und/oder verlagert werden (Abbildung 2.4-20b), indem an dem kleinen gefüllten Rechteck mit der Maus gezogen wird. Die Sucheigenschaft „nur x-Achse“ kann zusätzlich verwendet werden, um die Übereinstimmungssuche nur entlang einer Linie auszuführen.



a) „Key-Frame“-Festlegung

b) Zielpunkt verschoben

Abbildung 2.4-20. Autotracker Suche

**Tipp:** Die Schablone braucht nicht groß zu sein und muss nicht das gesamte Objekt enthalten. Durch Ziehen an dem kleinen gefüllten Rechteck (Abbildung 2.4-20a, Auswahl der Schablone) kann die Schablone definiert werden. Die Eindeutigkeit und die Markanz des ausgewählten Bereichs sind wichtig.

In Abbildung 2.4-18-1 - grüner Bereich werden drei Such-Schaltflächen angeboten. Über die Schaltfläche „Suche“ wird die automatische Suche gestartet und das gewünschte Objekt markiert, soweit dies automatisch möglich ist.

Die Schaltfläche „Suche hier“ wird aktiviert, um die Suche nur auf dem aktuellen Einzelbild zu starten/wiederholen (z. B. nach Anpassung des Suchbereiches bei nicht erfolgreicher Suche davor).

Über die Schaltfläche „Suche nächsten“ wird ein Suchschritt vorwärts durchgeführt. Je nach Suchergebnis und Übereinstimmungsgüte gibt es den positiven Trefferfall (Abbildung 2.4-19a) und den mögliche Trefferfall (Abbildung 2.4-19b). Bei dem möglichen Trefferfall werden u. a. die Möglichkeiten „Akzeptieren“, „Auslassen“ und „manuelle Auswahl“ angeboten. Verläuft die Suche dagegen erfolglos (kein Ergebnis gefunden), gibt es die Möglichkeit der manuellen Auswahl, oder es kann zum nächsten Einzelbild weitergegangen und das aktuelle Bild ausgelassen werden. Es kann außerdem der Fall eintreten, dass die Suche nicht möglich ist, z. B. falls sich der Suchbereich außerhalb des Videoclips befindet oder die x-Achse (bei der entsprechenden Tracker-Funktion) nicht im Suchbereich liegt.

Nach Abschluss des Autotrack-Prozesses können alle Schritte modifiziert werden. Somit ist die Autotrack-Funktion als eine Hilfe anzusehen. Die Kontrolle über die markierten Schritte liegt beim Anwender und wird nicht von Tracker eingeschränkt.

**Tipp:** Beim Analysieren von langen Videoclips über die Autotrack-Funktion sollte die automatische Aktualisierung (Auto-Aufbereitung in Abbildung 2.4-21) ausgeschaltet werden, um den Prozess zu beschleunigen. Am Ende des Autotrack-Prozesses kann die Auto-Aufbereitung wieder eingeschaltet oder manuell aktualisiert werden (Neu aufbereiten, Abbildung 2.4-21).<sup>20</sup>

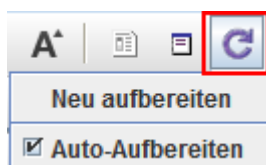



Abbildung 2.4-21. Automatische Aktualisierung


---

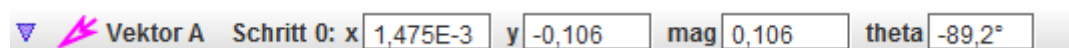
<sup>20</sup> (Tracker Help, 2017, S. 56)

### 2.4.11 Vektorielle Darstellungen

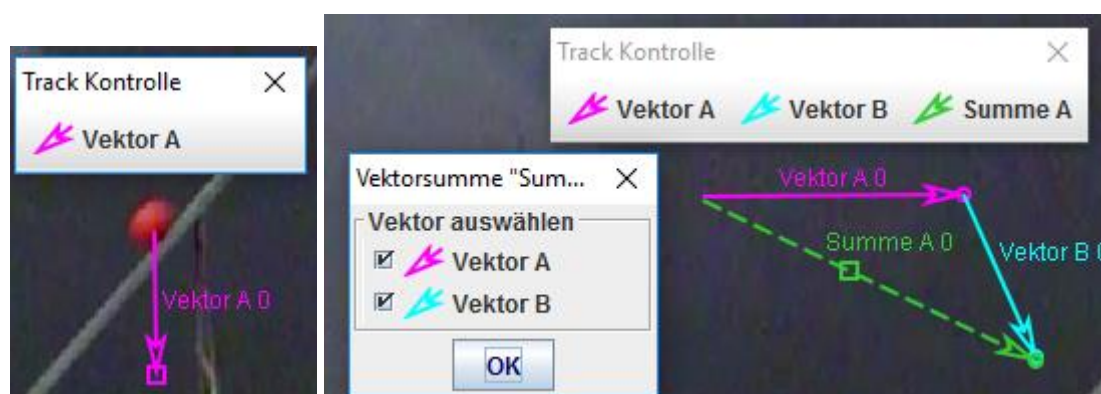
Tracker ermöglicht die Darstellung und das Verfolgen (Tracken) von Vektoren.

Über das Symbol  in der Symbolleiste (Abbildung 2.4-14) können Vektoren und Vektorsummen im Projekt hinzugefügt werden.

Mithilfe der Tastenkombination „*Umschalt+Klicken*“ kann der Vektor im Bild selektiert und ohne Loszulassen in die gewünschte Richtung gezogen werden (Abbildung 2.4-22b). Die Vektoreigenschaften werden in der dynamischen Symbolleiste dargestellt und können dort angepasst werden (Abbildung 2.4-22a). Weitere Eigenschaften des ausgewählten Vektors können, wie in Tracker üblich, über die rechte Maustaste angezeigt werden. Es können mehrere Vektoren hinzugefügt und miteinander verbunden werden, indem die Vektoren so verschoben werden (Selektieren und Ziehen des Vektorrechtecks), dass die Enden oder Anfänge der Vektoren zusammengezogen werden. Eine Vektorsumme kann über den Menüpunkt  => „Vektorsumme“ berechnet werden. Hierfür müssen die Vektoren selektiert werden (Abbildung 2.4-22c). Die Vektorsumme wird am Koordinatenursprung angezeigt und kann anschließend verschoben werden. Diese Darstellungsart ist für die Darstellung von Kräften sehr hilfreich.



a) Vektoreigenschaften




b) Vektor Definierung

c) Vektorsumme

Abbildung 2.4-22. Vektoren und Vektorsummen

### 2.4.12 Farbprofil Linie

Tracker bietet eine Funktion an, um die Helligkeit und die RGB-Werte entlang einer Linie in einem Videoclip bestimmen zu können. Diese Funktion kann über  => *Farbprofil Linie* in der Symbolleiste (Abbildung 2.4-14) gestartet werden. Die Linie (Abbildung 2.4-23a) ist das angebotene Messwerkzeug. Die Breite der Linie kann variiert werden (Abbildung 2.4-23b). Wenn die Linie über den Parameter „Verbreitern“ (Abbildung 2.4-23c) vergrößert wird, werden die Pixel über und unter der Linie gemittelt, um das Rauschen zu reduzieren und die Empfindlichkeit zu erhöhen.<sup>21</sup> In Abbildung 2.4-23d wurde ein Farbprofil eines Wasserstoff-Spektrums erstellt.

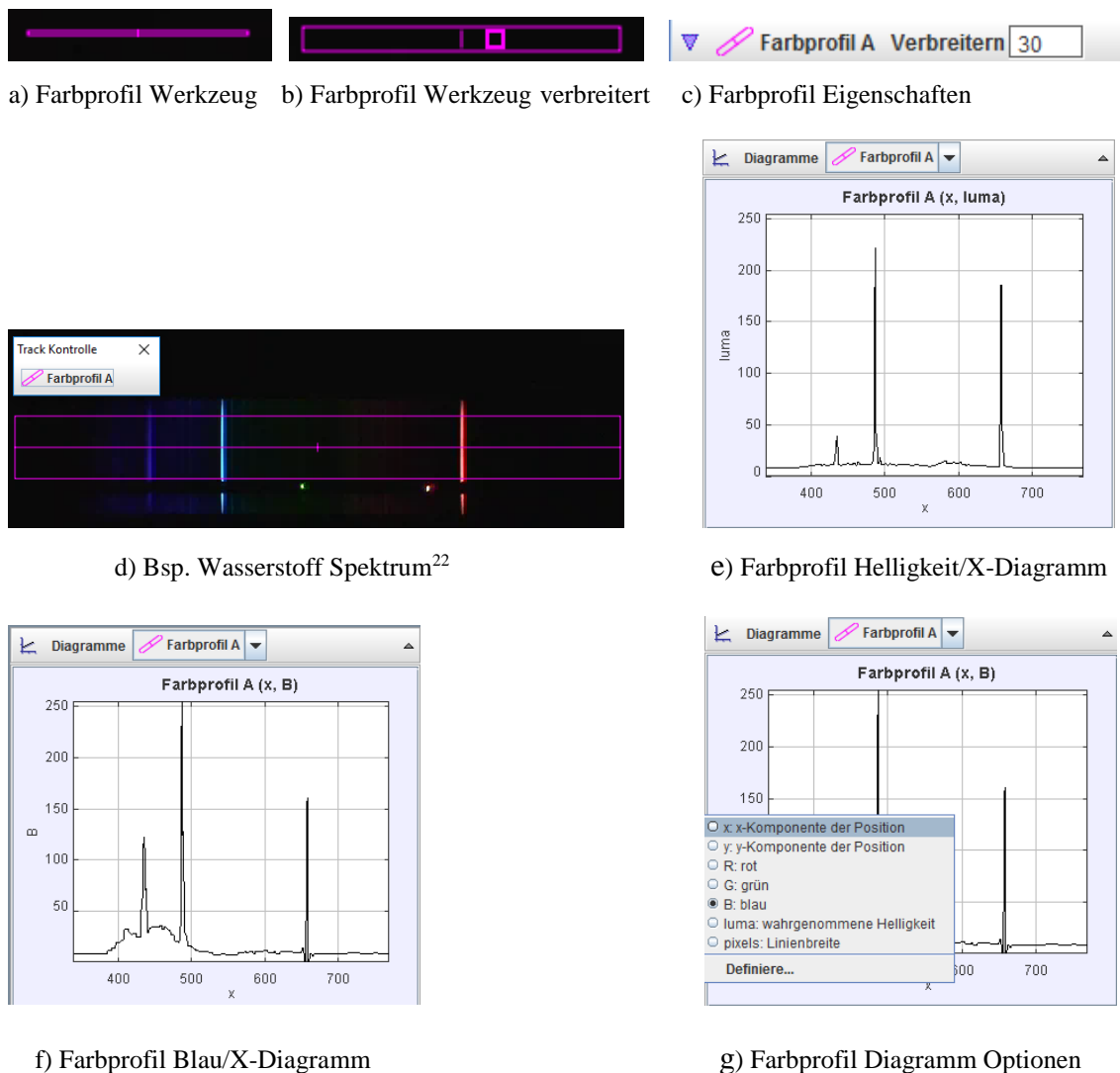



Abbildung 2.4-23. Farbprofil

<sup>21</sup> (Tracker Help, 2017, S. 65)

<sup>22</sup> (Tracker Experimente Library: Wasserstoff Spektrum, 2017)

Die entsprechenden Daten der Messung werden in der Diagrammansicht dargestellt. Standardmäßig wird die Helligkeit an den einzelnen Stellen in der X-Achse in Luma dargestellt (Abbildung 2.4-23e). Über die Konfigurationsoptionen der Diagramme (Abbildung 2.4-23g) lassen sich auch die einzelnen (rot, grün oder blau) Werte darstellen (Abbildung 2.4-23f).

### 2.4.13 Farbregion

Ähnlich wie beim Farbprofil in Kapitel 2.4.12 können in der Symbolleiste über  **Neu** => *Farbregion* die mittlere Helligkeit und die RGB-Werte über die Zeit gemessen werden. Dafür wird das Farbregion-Werkzeug (Abbildung 2.4-24a) – ein Kreis mit veränderbarem Radius (Abbildung 2.4-24b) – verwendet.



a) Farbregion Werkzeug



b) Farbregion Eigenschaften

Abbildung 2.4-24. Farbregion

## 2.5 Modellbildung

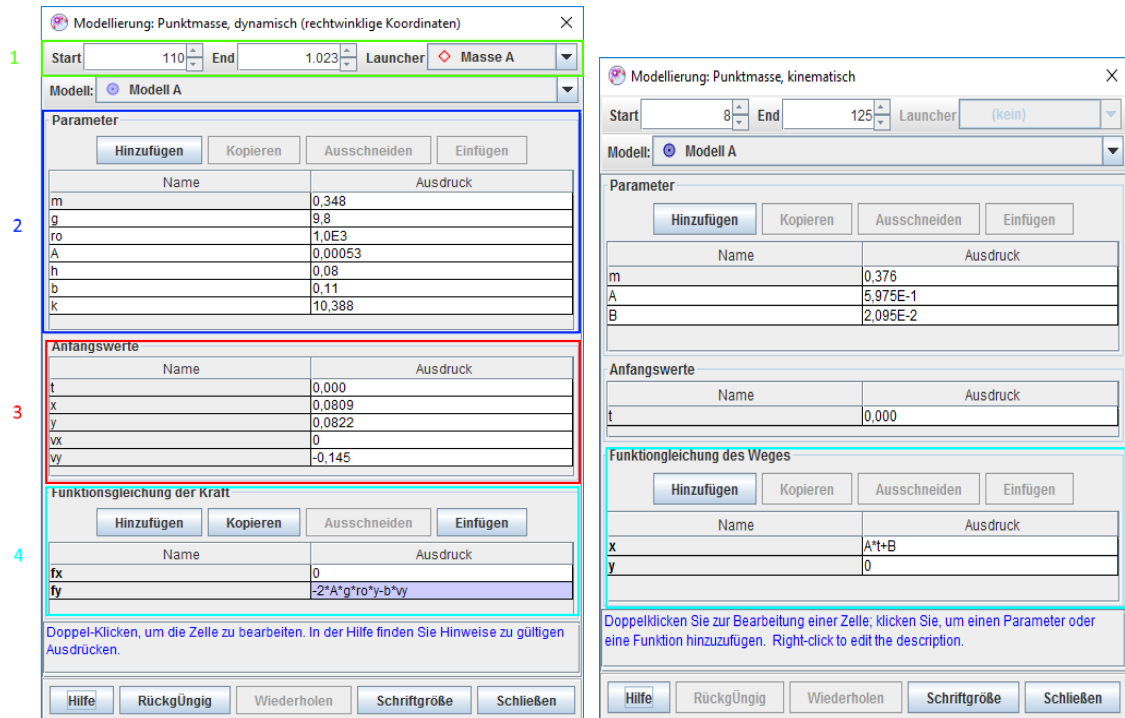
Die Bildung von Modellen zur Beschreibung von Vorgängen und Phänomenen ist eine zentrale Aufgabe der Naturwissenschaften. Modelle sind Abbildungen der Realität und dienen der Zusammenfassung, Vereinheitlichung oder Vereinfachung von theoretischen Entitäten. Eine Beschreibung der Realität in ihrer vollen Komplexität ist im Unterricht unmöglich. Um Verstehensprozesse anzuregen, müssen Vorgänge in ihrer Darstellung didaktisch sinnvoll reduziert und elementarisiert werden. Das Modell sollte dabei so einfach wie möglich und so genau wie nötig sein, um den relevanten Ausschnitt der Realität passend zu beschreiben.<sup>23</sup>

Über Tracker können verschiedene mathematische Modelle von Punktmassen modelliert werden. Dabei werden der Ablauf und die einzelnen Bewegungsschritte von dem mathematischen Modell berechnet und nicht über Mausklick festgelegt.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Modellbildungsarten unterschieden. Dies sind die kinematische und die dynamische Modellierung.

<sup>23</sup> (Suleder, 2010, S. 42)

Die kinematische Modellierung definiert die Zeit-Ort-Funktion (Abbildung 2.5-1b), während bei der dynamischen Modellierung die angreifenden Kräfte und die Anfangsbedingungen (Abbildung 2.5-1a) definiert werden.




a) Dialogfenster dynamische Modellierung

b) Dialogfenster kinematische Modellierung

Abbildung 2.5-1. Modellierungsdialoge

Die Berechnung der Bewegungsschritte bei der dynamischen Modellierung (auch als numerische Modellierung bekannt) lässt sich immer auf die gleichen physikalischen Grundlagen der Bewegung eines Massenpunktes oder den Schwerpunkt eines starren Körpers zurückführen. Wenn die Summe aller an einen Körper mit konstanter Masse  $m$  angreifenden Kräfte zum Zeitpunkt  $t$  gleich  $F(t)$  ist, so lässt sich die Beschleunigung zu diesem Zeitpunkt durch  $a(t) = F(t)/m$  berechnen. Die Geschwindigkeitsfunktion  $v(t)$  und die Ortsfunktion  $s(t)$  können aus der Beschleunigungsfunktion durch numerische Integration berechnet werden. Für einen Körper, bei dem Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung sowie die angreifenden Kräfte zu irgendeiner Zeit bekannt sind, lässt sich berechnen, wo dieser sich kurze Zeit später befinden wird. Daraus kann Schritt für Schritt der gesamte Bewegungsablauf ermittelt werden. Dabei ist die Näherung des numerischen Ergebnisses mit der realen Bewegung umso exakter, je kleiner die Zeitschritte sind.

Tracker bietet über die Symbolleiste  **Neu** => *dynamisches/kinematisches Modell* (-Abbildung 2.4-14) das Hinzufügen von Modellen von Punktmassen in das Projekt an und

öffnet hierbei die entsprechenden Modellbildungsdialoge (Abbildung 2.5-1a/b). Diese Dialogfenster sind ähnlich aufgebaut.

In Abbildung 2.5-1a - grüner Bereich sind ein Start- und ein Endbild abgebildet, mit denen sich der zu modellierende Bereich des Videoclips eingrenzen lässt. Im Modellierungsdialog lassen sich über den „Launcher“ die Anfangswerte von einer bereits analysierten Punktmasse übernehmen. Unter „Parameter“ (Abbildung 2.4-14a - blauer Bereich) lassen sich Parameter samt ihrer Anfangswerte definieren, die anschließend in den Funktionsgleichungen (Abbildung 2.4-14a - türkisfarbener Bereich) benutzt werden können.

Die eingegebenen Funktionen und Parameter werden von einem Parser (OSP Parser) interpretiert. Die Werte der Parameter sind konstant, während die Werte der Funktionen von Eingabevariablen wie  $x$ ,  $y$ ,  $t$  usw. abhängen.

Der Parser erkennt folgende Elemente:<sup>24</sup>

- Zahlen (Dezimal- oder wissenschaftliche Schreibweise (Bsp. 5.0E-3))
- Namen von Parametern, Funktionen und Eingabevariablen
- Konstanten ( $e$  und  $\pi$ )
- Arithmetische Operanden  $+ - * / ^$
- Boolesche Operanden  $= > < <= >= <> \& | !$
- Klammern und Operanden-Reihenfolge
- If-Anweisungen (if-Bedingungen, Ausdruck1, Ausdruck2)
- Mathematische Funktionen (siehe Tabelle 1)

abs(x)	acos(x)	acosh(x)	asin(x)	asinh(x)	atan(x)	atanh(x)	atan2(x,y)	ceil(x)	cos(x)
cosh(x)	exp(x)	frac(x)	floor(x)	int(x)	log(x)	max(x,y)	min(x,y)	mod(x,y)	random(x)
round(x)	sign(x)	sin(x)	sinh(x)	sqr(x)	sqrt(x)	step(x)	tan(x)	tanh(x)	

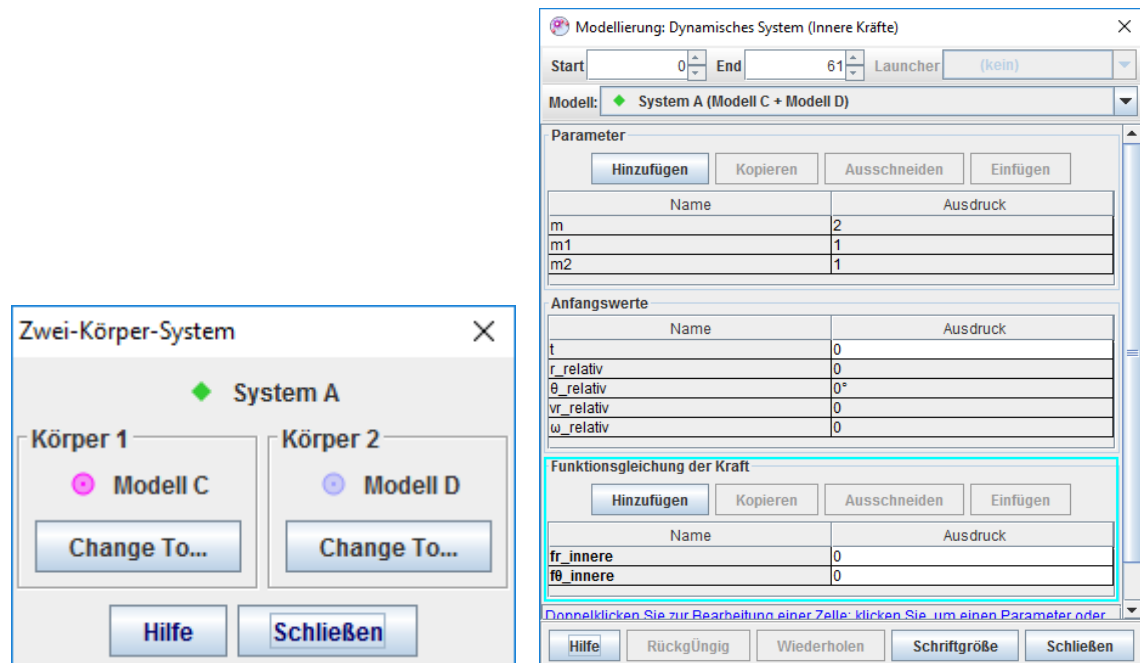
Tabelle 1. Mathematische Funktionen unterstützt vom OSP Parser<sup>24</sup>

Die dynamische Modellierung in Tracker kann in kartesischen oder polaren Koordinaten erfolgen. Außerdem bietet Tracker die Möglichkeit der Modellierung eines Zwei-Körper-Systems an. Gedacht ist diese Modellierungsart für zwei dynamische Punktmassen, die über interne radiale und tangentielle Kräfte miteinander interagieren. Die Masse des Systems wird durch die Summe der Punktmassen definiert und das Zentrum des Systems ist das Zentrum der Punktmassen. Die Definition des Zwei-Körper-Systems erfolgt wie in

<sup>24</sup> (Tracker Help, 2017, S. 69)



Abbildung 2.5-2a dargestellt. Die weitere Modellierung erfolgt anhand des Modellbildungsdialogs, wobei hier die inneren Kräfte die Funktion des Abstandes „ $r$ “ zwischen den Punktmassen und dem Winkel „ $\theta$ “ (zwischen Punktmasse1 und Punktmasse2) sind.



a) Definition Zwei-Körper-System

b) Modellierungsdialg Zwei-Körper-System

Abbildung 2.5-2. Zwei-Körper-System

Die Kombination von Videoanalyse und Modellbildungssoftware erscheint in didaktischer und methodischer Hinsicht vielversprechend. Die gleichzeitige Darstellung von Videobildern mit den Daten aus der Modellbildung unterstützt den Modellierungsprozess und die Beurteilung des Modells auf anschauliche Weise. Der Aspekt des situierten Lernens wird dabei besonders betont.<sup>25</sup>

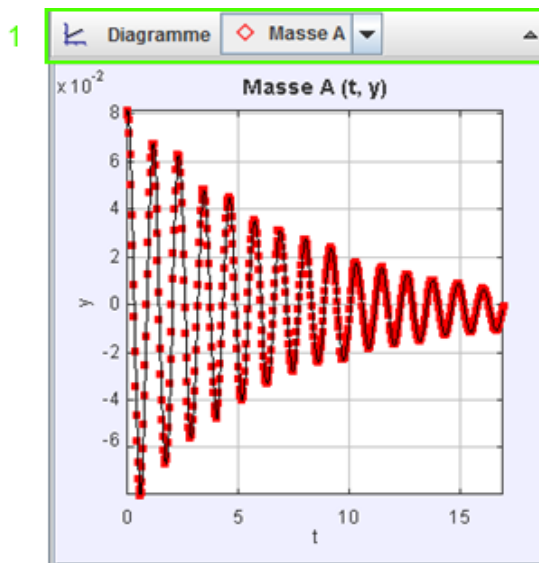
## 2.6 Diagramme und Tabellen

Diagramme gehören zu den wichtigsten Darstellungsformen für Messdaten und funktionale Zusammenhänge in der wissenschaftlichen Literatur. Das Erstellen und Interpretieren von Diagrammen ist daher eine für naturwissenschaftliches Arbeiten unverzichtbare Kompetenz.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> (Suleder, 2010, S. 45)

<sup>26</sup> (Suleder, 2010, S. 37)

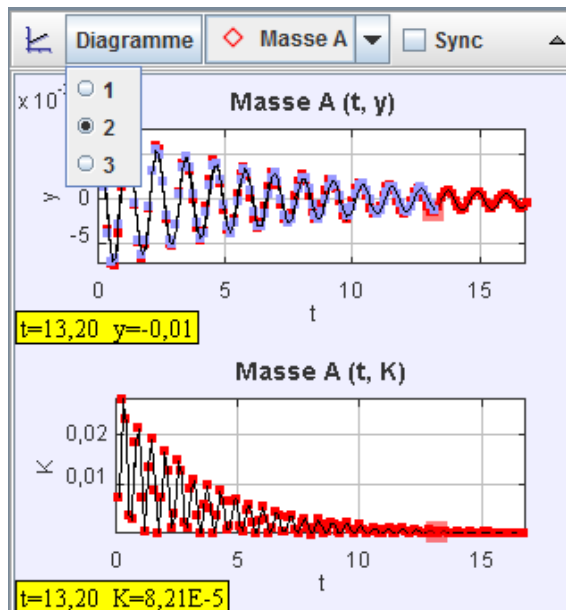
Tracker erlaubt das Erstellen und Anzeigen von Diagrammen (Abbildung 2.6-1a) mit freier Einstellung der horizontalen und vertikalen Diagrammachsen (Abbildung 2.6-1d).



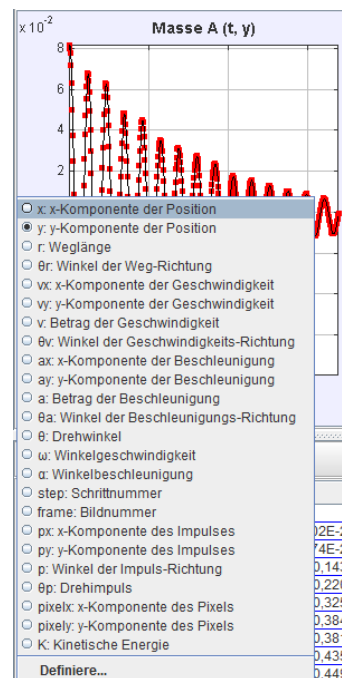
a) Diagramm Darstellung U-Rohr-Schwingungen

t	y	vy
0.000	7,990E-2	
0.033	8,185E-2	2,202E-2
0.067	8,137E-2	-5,974E-2
0.100	7,786E-2	-0,143
0.133	7,186E-2	-0,220
0.167	6,322E-2	-0,325
0.200	5,017E-2	-0,384
0.233	3,761E-2	-0,381
0.267	2,476E-2	-0,435
0.300	8,584E-3	-0,449
0.333	-5,174E-3	-0,422
0.367	-1,955E-2	-0,432
0.400	-3,400E-2	-0,402
0.433	-4,633E-2	-0,348
0.467	-5,717E-2	-0,298

b) Tabellarische Darstellung der Daten



c) Multiple Diagrammdarstellung



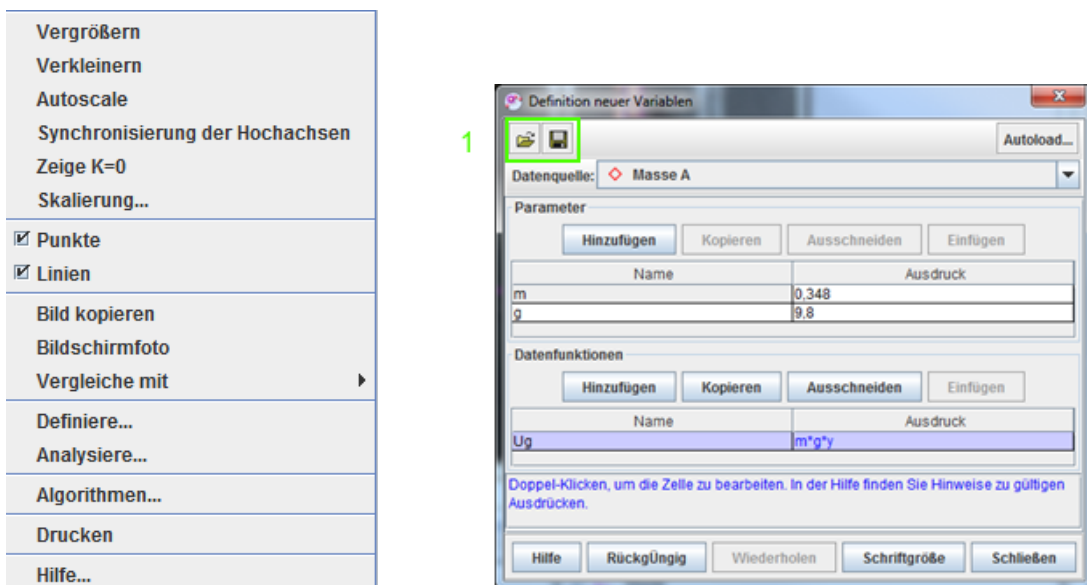
d) Festlegung der Diagrammachsen

Abbildung 2.6-1.Tracker Diagramme

Die dargestellten Punktmassen, Modelle und weitere Tracker-Objekte können über das Auswahlfeld selektiert werden (Abbildung 2.6-1a-1 - grüner Bereich).

Zusammenhänge zwischen den physikalisch relevanten Größen der Kinematik und Dynamik wie Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung und den zeitlich abhängigen Größen wie Kraft, Impuls und Energie (potenzielle Energie, kinetische Energie, Gesamtenergie) können mittels Tracker in Diagrammform dargestellt werden. Im Diagrammbereich können bis zu drei unterschiedliche Diagramme gleichzeitig dargestellt werden (Abbildung 2.6-1c). Es ist auch möglich, in einem Diagramm einen Vergleich mit einer anderen Punktmasse oder einem Modell durchzuführen. In Abbildung 2.6-1c wird zum Beispiel im oberen Diagramm die Punktmasse (rot) mit einem dynamischen Modell verglichen (violett). Ein solcher Vergleich wird über die Schrittfolge *rechte Maustaste => Optionen => „Vergleiche mit“* realisiert (Abbildung 2.6-2a).

Über die Option „Definieren mit“ können neue Variablen definiert werden, die z. B. als Spalten in dem Diagramm verwendet werden können. Die Definition der Variablen funktioniert ähnlich und unterstützt dieselben OSP Parser-Funktionen wie in Tabelle 1 angeführt.



a) Diagramm Darstellung U-Rohr-Schwingungen

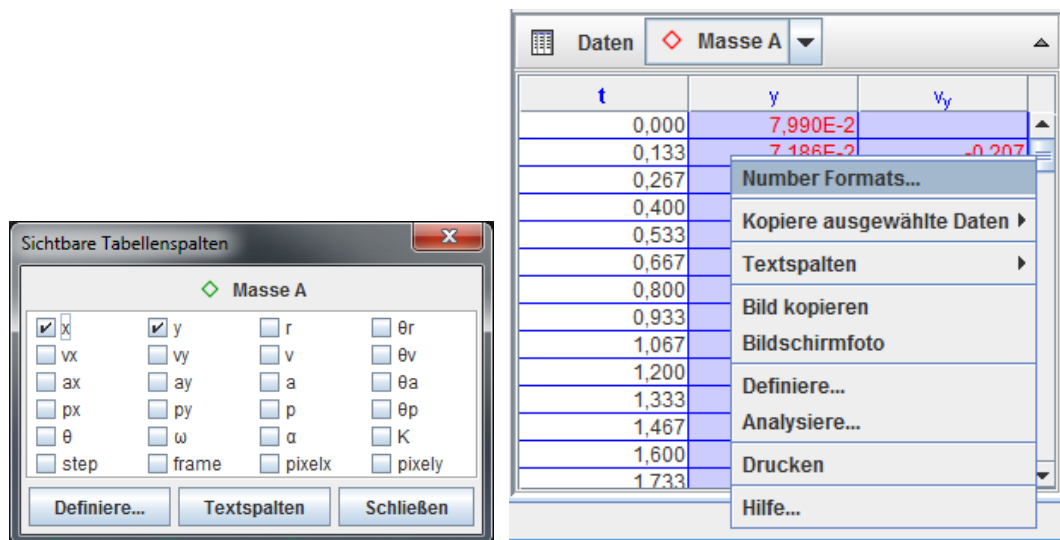
b) Tabellarische Darstellung der Daten

Abbildung 2.6-2. Diagramm Darstellungsoptionen und Definition der Variablen

Über die Schaltflächen in Abbildung 2.6-2b-1 - grüner Bereich können die Funktionen als XML gespeichert und entsprechend importiert werden.

Die tabellarische Darstellung der Daten (Abbildung 2.6-1b) ist standardmäßig unter der grafischen Darstellung in Tracker positioniert und vielseitig konfigurierbar. Bei einem Klick über das Wort „Daten“ (Abbildung 2.6-1b - grüner Bereich) werden die möglichen

Spalten (Abbildung 2.6-3a) angeboten, und neu berechnete Spalten/Variablen können wiederum über die Schaltfläche „Definiere“ auf die gleiche Weise wie in Abbildung 2.6-2b definiert werden. Die selektierten Zeilen in den Tabellen sind synchron zu den Ablaufschritten in der Videoansicht und den selektierten Punkten in der grafischen Darstellung, was das Nachvollziehen der Messwerte und deren Visualisierung in den Grafiken erleichtert und sehr angenehm gestaltet.



a) Tabellarische Darstellung Spaltenauswahl    b) Tabellarische Darstellung Selektion und Optionen

Abbildung 2.6-3. Tabellarische Darstellung - Spaltenauswahl und Optionen

Die Textspalten (Abbildung 2.6-3b) können durch „Ziehen und Loslassen“ innerhalb der Tabelle verschoben und mit einem Klick auf die Spalte „Name“ umsortiert werden. Die Werte in den Textspalten und Zeilen lassen sich mit der Maus selektieren. Über die rechte Maustaste gelangt man zu weiteren hilfreichen Optionen wie das Formatieren der Zahlen, das Exportieren von Tabellendaten („Kopiere ausgewählte Daten“ in (Abbildung 2.6-3b)) oder das Erzeugen von neuen Textspalten.

Über die Option „Analysiere...“ sowohl in der Diagrammdarstellung (Abbildung 2.6-2a) als auch in der tabellarischen Darstellung (Abbildung 2.6-3a) gelangt man zum Datenanalyse-Tool (Abbildung 2.6-4). Über dieses Tool können verschiedene grafische Darstellungen realisiert werden, wie zum Beispiel eine statistische Datenanalyse oder das Fitten von Funktionsgraphen. Bei letzterem werden die Kurven im jeweiligen Diagramm so passend wie möglich durch Funktionsgraphen angeglichen. In dem Beispiel in Abbildung 2.6-4 beschreibt die rote Linie den über die getrackten grünen Punkte verlaufenden

Ort-Zeit-Ablauf, während die blaue Linie über die Funktionsgleichung  $x = A \cdot t + B$  automatisch an die Messwerte angeglichen wird. Die Werte für A und B werden automatisch („Autofit“) durch das Datenanalyse-Tool bestimmt. Die Standardabweichung wird von Tracker festgelegt und angezeigt. Der Anwender sollte jedoch über ausreichende Kenntnisse bezüglich mathematischer Funktionstypen, die im Voraus für das Fitten ausgewählt werden (hier eine lineare Funktion), verfügen.

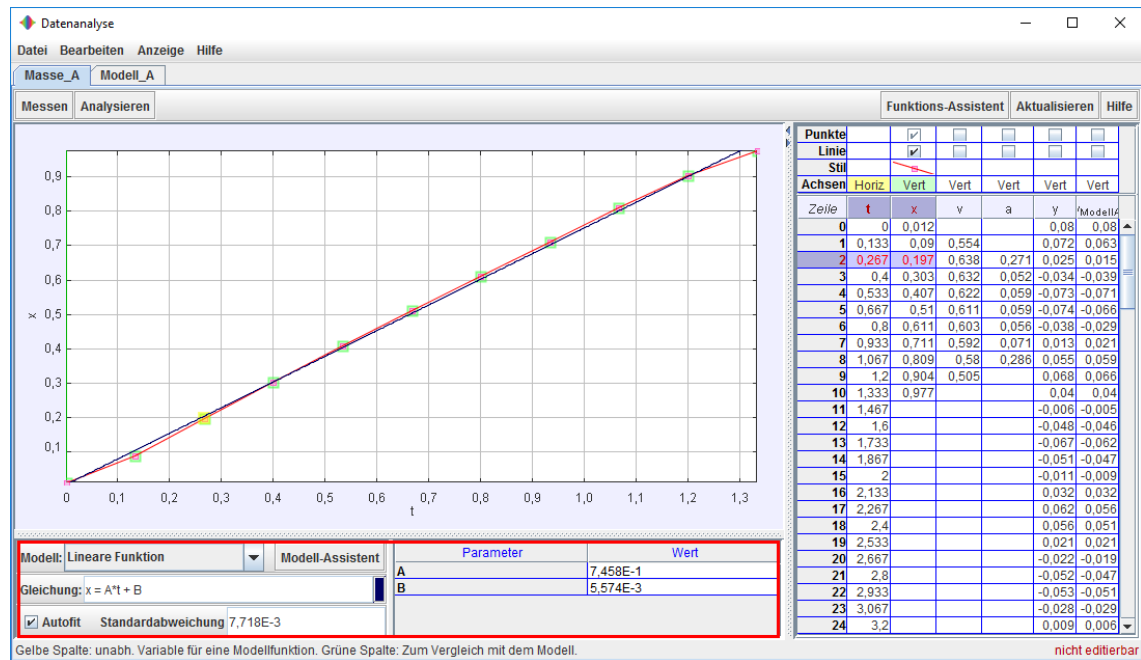


Abbildung 2.6-4. Datenanalyse-Tool

Weitere Tracker-Funktionen und Einsatzbeispiele werden im nächsten Kapitel anhand von konkreten Videoanalyse- und Modellbildungsbeispielen erläutert.

## 3 Tracker in der Praxis

Im vorherigen Kapitel wurde eine Vielzahl an Funktionen und Optionen der Videoanalyse-Software Tracker präsentiert und erläutert. Ebenso wurden diverse Fachbegriffe eingeführt und die genannten Funktionen teils mit Abbildungen veranschaulicht. In diesem Kapitel steht die praktische Anwendung von Tracker im Mittelpunkt. Zu diesem Zweck wurden sieben Beispielvideos gedreht, bei drei der Videos handelt es sich um Standardversuche im Physikkabor und bei den anderen vier um Unterwasservideos, die in einem Schwimmbad aufgenommen wurden.

Aus den diversen Aufnahmen wurden mittels externer Videoschnitt-Software die Videoclips zeitlich auf die relevanten Teilabschnitte geschnitten. Die Videoclips wurden daraufhin direkt in Tracker geöffnet (siehe Kapitel 2.4.1), um die Videoclip-Intervalle zeitlich einzugrenzen (Abbildung 2.3-3). Mithilfe der verfügbaren Videoschnittoptionen (siehe Kapitel 2.3.1) wurden anschließend die zeitlich eingegrenzten Intervalle der Videoclips exportiert. Das Exportieren/Konvertieren nahm etwas Zeit in Anspruch. Die exportierten Videoclip-Intervalle konnten anschließend direkt in Tracker geöffnet und problemlos analysiert werden. Die Videoqualität war jedoch teils deutlich reduziert und die Dateigröße nicht sehr klein (gemessen an der Qualität). Diese Vorgehensweise bietet sich an, um z. B. im Unterricht aufgenommene Videos direkt zu verkleinern, um diese anschließend effizienter analysieren zu können. Die Wahl externer Videoschnitt- und Konvertierungsprogramme wurde bewusst getroffen, da die Output-Qualität der Konvertierung besser und die Größe der Videoclip-Dateien deutlich kleiner ist als wenn Schnitt und Konvertierung mit Tracker vorgenommen werden. Außerdem ist es bei dieser Vorgehensweise möglich, den Videoclips relevante Messangaben hinzuzufügen.

### 3.1 Rollenfahrbahn

Auf der Rollenfahrbahn wird ein Wagen durch leichtes Schupsen in Bewegung gesetzt. Die Zusammenhänge zwischen den physikalischen Größen wie Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung werden mithilfe der Tracker-Videoanalyse (Abbildung 3.1-1) verdeutlicht.

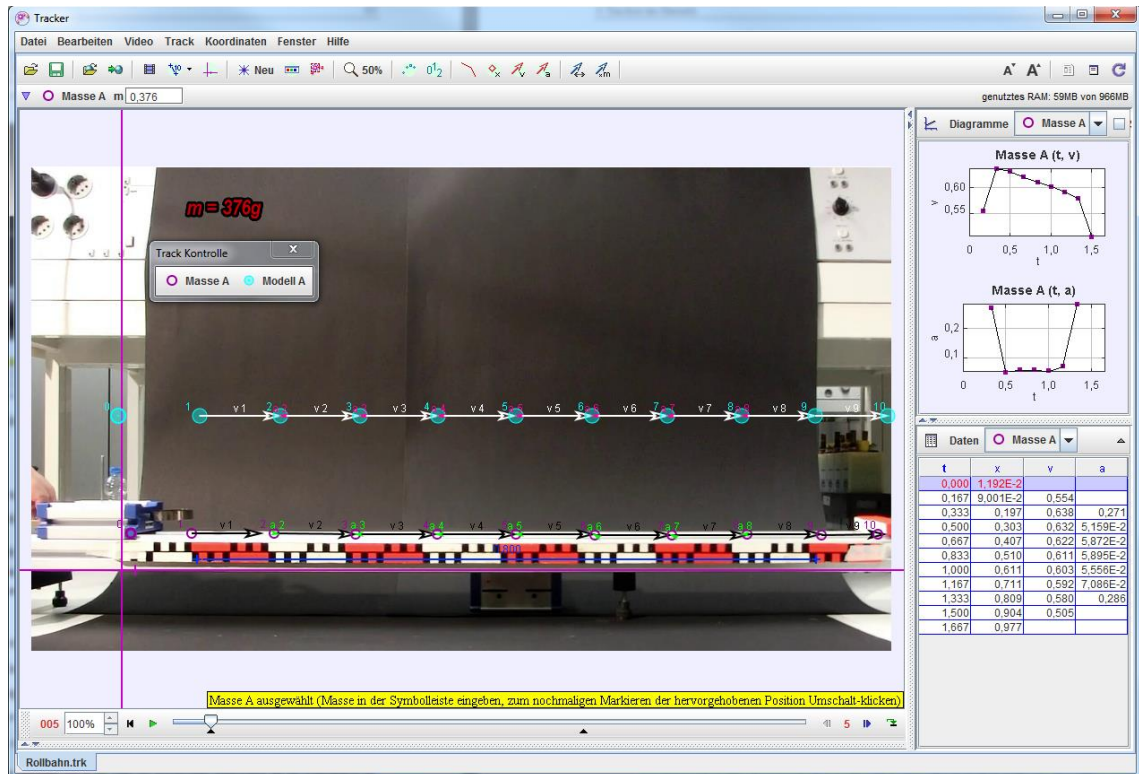


Abbildung 3.1-1. Rollenfahrbahn in Tracker

### Die Analyseschritte:

1. Der Videoclip wird in Tracker geöffnet (siehe Kapitel 2.4.1) und auf die richtige Größe verkleinert/vergrößert (Abbildung 2.4-1).

**Tipp:** Den Videoclip aus dem Verzeichnis über die Tracker-Programmoberfläche „ziehen und loslassen“. Dadurch wird ein neues Projekt/eine neue Mappe angelegt und der Clip geöffnet. Achtung: Den selektierten Videoclip nicht über einem bereits geöffneten Projekt loslassen, da sonst der Videoclip in diesem Projekt durch den selektierten Videoclip ersetzt wird.

2. Durch das Festlegen der Start- und Endmarken auf der Zeitleiste wird der Videoclip zeitlich eingegrenzt (Abbildung 2.3-3). Je nach Bedarf kann die Schrittweite (z. B. bei sehr langen Videoclips) erhöht werden. Für die vorliegende Analyse wurde eine Schrittweite von 1 verwendet. Für die Darstellungen wurde die Schrittweite auf 5 erhöht, um einen guten Überblick zu erhalten.

**Tipp:** Den Videoclip abspielen und in der Nähe der für die Videoanalyse gewünschten Startposition anhalten. Mithilfe der Vorwärts- und Rückwärtssymbole (Abbildung 2.3-1) den Positionsmarker am gewünschten Startbild positionieren. Über die mit der rechten Maustaste abrufbare Option „Setze das Startbild hier“ (Abbildung 2.3-4) können der Startpunkt und der Endpunkt der Videoanalyse sehr präzise festgelegt werden.



3. Die Videoclip-Einstellungen (siehe Kapitel Clip-Einstellungen 2.4.4) werden überprüft und wenn notwendig angepasst. Die Zeit zwischen den Bildern bzw. die Anzahl der Bilder/Sek. ist grundlegend für die richtige Bestimmung der physikalischen Größen für die Videoanalyse.
4. Ein Kalibrierungsmaßstab wird an einem gut erkennbaren Bereich hinzugefügt (siehe Kapitel 2.4.5) und entsprechend der Länge des Videoclips in ca. acht Abschnitte (je 80 cm) unterteilt (Abbildung 3.1-2, Kalibrierungsmaßstab = blau). Für den Kalibrierungsmaßstab wird der Wert von 0.8 eingetragen und der Kalibrierungsmaßstab anschließend fixiert, damit er nicht versehentlich verändert wird.

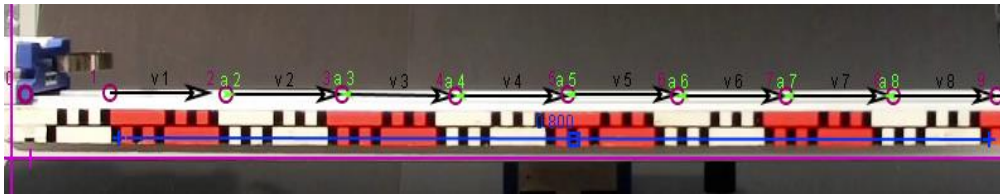






Abbildung 3.1-2. Rollenfahrbahn Videoclip in Tracker

5. Ein Koordinatensystem (siehe Kapitel 2.4.6) wird dem Projekt hinzugefügt und passend positioniert (Abbildung 3.1-2, Koordinatensystem = pink).
6. Als Nächstes wird eine Punktmasse hinzugefügt (siehe Kapitel 2.4.7). Über die mit der rechten Maustaste abrufbaren Eigenschaften können die Farbe und die Form der Punktmasse angepasst werden. Die bereits bekannte Masse des Wagens (= 376 g) wird eingetragen.
7. Die erste Wahl bei der Videoanalyse ist immer die automatische Analyse, sofern es keine technischen Probleme gibt. Wie bereits in Kapitel 2.4.10 aufgezeigt, wird über das Autotracker-Dialogfenster (Abbildung 2.4-18) und die Tastenkombination *Steuerung+Umschalt+Klick* ein Schwerpunkt für die Schablone in dem blauen Anfangsbereich des Wagens (gut unterscheidbar von der Umgebung) und somit ein „Key-Frame“ definiert. Ohne weitere Einstellungen oder Anpassungen vorzunehmen, hat die automatische Suche über die „Suche“-Schaltfläche den Wagen korrekt verfolgt und in jedem Einzelbild den jeweils markierten Punkt korrekt getroffen.



Nach der Analyse werden die Messdaten in einer Tabelle zusammengetragen (Abbildung 3.1-3b). Als Nächstes werden die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren an den markierten Stellen angezeigt. Dies geht in Tracker recht einfach über die Symbolgruppe  in der Symbolleiste (Abbildung 2.4-1). Durch das Anklicken der Symbole werden die Bahnkurve, die Punktmasse-Markierung, der Geschwindigkeitsvektor und der Beschleunigungsvektor eingeblendet oder versteckt. Über die Symbolgruppe  kann eine Übersicht des Ablaufs erstellt werden, indem über die Schaltfläche „Spuren kurz/lang“ die Spuren der Markierungen insgesamt oder für Teilabschnitte eingeblendet werden. Über das Symbol  können die Beschriftungen ein- und ausgeblendet werden, um eine bessere Übersicht zu erhalten. Nach der durchgeführten Analyse mit einem Schrittweitenwert von 1 wird man bei der vektoriellen Darstellung der Geschwindigkeit merken, dass es zu viele Punkte sind. Ändert man den Wert der Schrittweite auf 5, wird es übersichtlicher. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, die Größe der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren mithilfe des Symbols  für einen übersichtlicheren Vergleich der Markierungen zu vergrößern.

8. Vergleichsdiagramme erstellen. Die Messdaten (Abbildung 3.1-3b) sollen grafisch dargestellt werden. Dazu werden in der Diagrammübersicht (siehe Kapitel 2.6) zwei Diagramme eingeblendet. Die Diagrammachsen werden wie in Abbildung 2.6-1d erläutert so konfiguriert, dass in dem einen Diagramm die Abhängigkeit der Beschleunigung ( $a$ ) von der Zeit ( $t$ ) dargestellt wird und im zweiten Diagramm die Abhängigkeit der Geschwindigkeit ( $v$ ) von der Zeit ( $t$ ).

In dem  $t$ - $a$ -Diagramm ist zu sehen dass der Wagen nur in der Anfangs- und Endbewegungsphase eine Beschleunigungsänderung erfährt, im restlichen Diagramm ist eine Beschleunigung nahe null und somit eine kaum veränderte Beschleunigung zu erkennen. Es liegt somit teilweise ein typischer Verlauf für eine gleichförmige Bewegung vor. Im  $t$ - $v$ -Diagramm sieht man anfangs eine zum Teil gleichbleibende Geschwindigkeit (im Abschnitt  $t = 0,005$ - $0,6$  s) und dann eine gleichmäßige Verlangsamung. Das  $t$ - $x$ -Diagramm

zeigt eine Gerade mit konstanter Steigung. Aus dem Steigungsdreieck ergibt sich die Geschwindigkeit. Die Bewegungsgesetze (gleichförmige Bewegung) lauten:

$$s(t) = v_0 \cdot t + s_0 \quad v(t) = v_0 \quad a(t) = 0$$

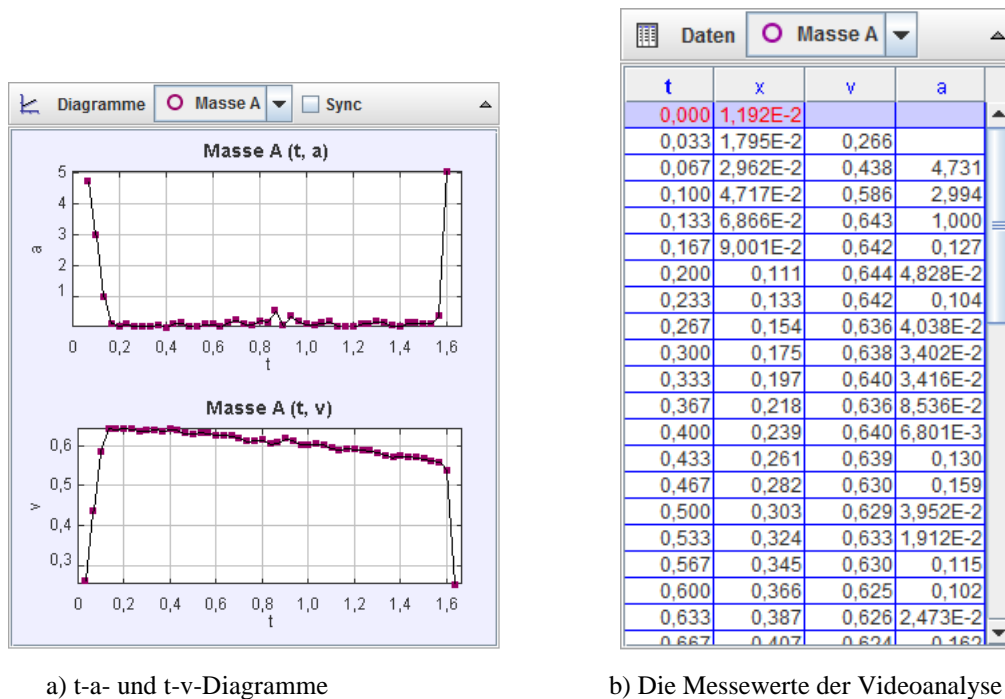



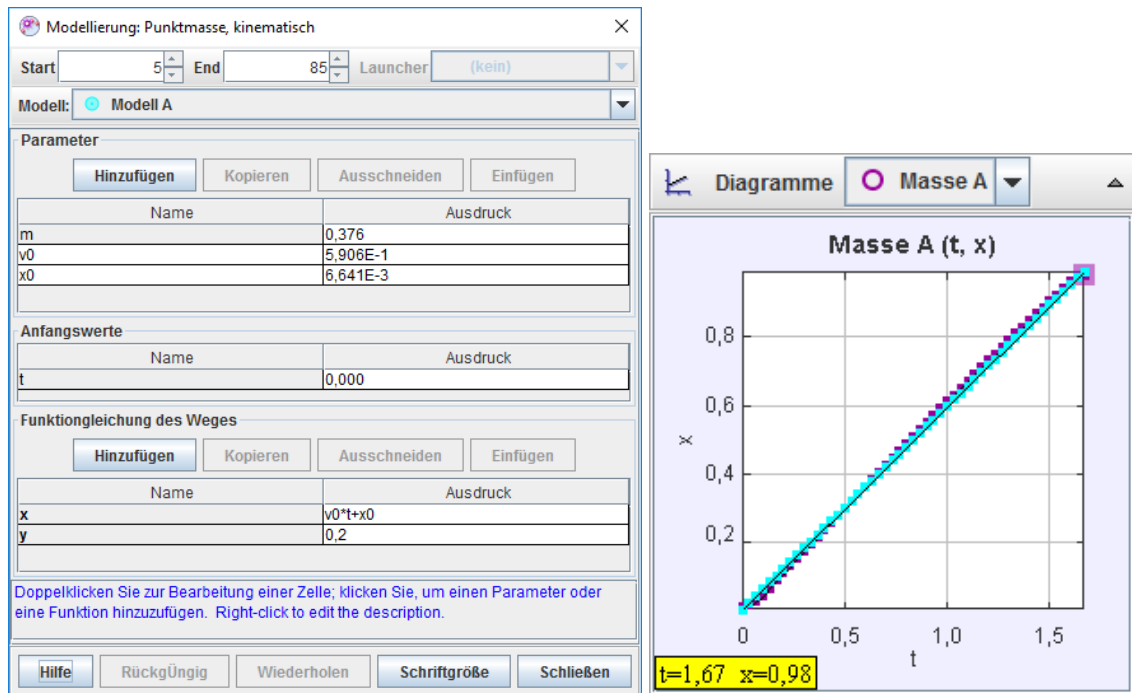
Abbildung 3.1-3. Diagramme Rollenfahrbahn

### 3.1.1 Rollenfahrbahn Kinematische Modellierung

Mithilfe der kinematischen Modellierungsfunktion von Tracker (siehe Kapitel 2.5) wird die Zeit-Ort-Funktion definiert und dadurch ein kinematisches Modell für die Rollenfahrbahn modelliert. Im Anschluss wird das Modell mit der Zeit-Ort-Funktion der Punktmasse aus der Videoanalyse verglichen.

Die kinematische Modellierung erfolgt über die Symbolleiste  => *kinematisches Modell* (Abbildung 2.4-14). Zur Modellierung der Punktmasse im Projekt öffnet sich das entsprechende Modellbildungdialogfenster (Abbildung 3.1-4a).


Start- und Endbild werden dabei automatisch passend zur Eingrenzung des Videoclips eingestellt. Die Parameter samt der Anfangswerte für die Gleichung  $x(t) = v_0 \cdot t + x_0$  werden im gleichnamigen Bereich und der Funktionswert  $v_0 \cdot t + x_0$  im Bereich „Funktionsgleichung des Weges“ eingetragen.



a) Dialog: kinematische Modellierung

b) t-x Diagramm Masse A im Vergleich mit dem kinematischen Modell A (Türkis)

Abbildung 3.1-4. Rollenfahrbahn kinematische Modellierung

Bei der kinematischen Modellierung werden Schritt für Schritt die Punkte des Modells generiert (hierfür ist ein erneutes Abspielen des Videoclips vom Startpunkt aus notwendig). Über das Symbol  werden alle Spuren der Markierungen auf einmal (für das gesamte Video oder für Teilabschnitte) eingeblendet (Abbildung 3.1-5). Die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren werden eingeblendet (Abbildung 3.1-1).

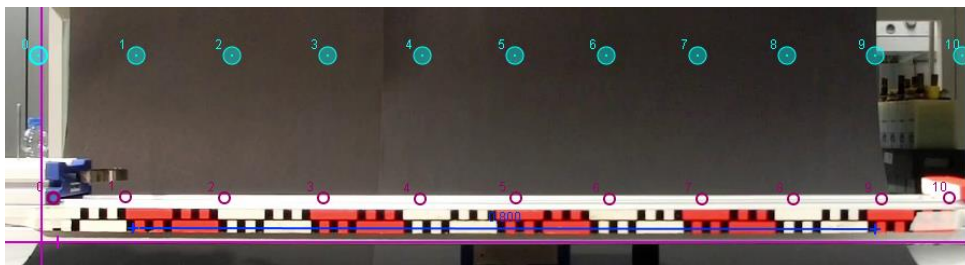


Abbildung 3.1-5. Kinematische Modellierung. Modellspuren (Türkis)

Im t-x-Diagramm der Masse A ist das zusätzliche Einblenden des kinematischen Modells A über die Schrittfolge *rechte Maustaste* => *Optionen* (Abbildung 2.6-2a) => "Verglei-

che mit“ und somit ein Vergleich der Abläufe möglich (Abbildung 3.1-4b). Wie in Abbildung 4.1-4b ersichtlich ist, sind die Abweichungen gering bzw. nähert sich das Modell A an die Masse A an.

## 3.2 Das Wasserpendel

Wird eine Flüssigkeitssäule in einem U-förmigen Rohr z. B. durch Hineinblasen in Schwingung versetzt, so führt diese Flüssigkeitssäule eine harmonische Schwingung aus, wobei die Schwingungsdauer nur vom Rohrdurchmesser und vom Volumen der eingefüllten Flüssigkeit abhängig ist. Auch ein Körper, der in einer Flüssigkeit schwimmt, kann eine harmonische Schwingung ausführen. Die Schwingungsdauer ist in diesem Fall von der Dichte des Körpers ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) und der Flüssigkeit sowie von den Abmessungen des Körpers abhängig.

Eine harmonische Schwingung liegt dann vor, wenn die Rückstellkraft proportional zur Auslenkung ist. Als Rückstellkraft wirkt hier die Gewichtskraft der überstehenden Flüssigkeitssäule:

$$F_R = -m_{Fl} \cdot g = -\rho \cdot V \cdot g = -\rho \cdot A \cdot 2 \cdot y \cdot g$$

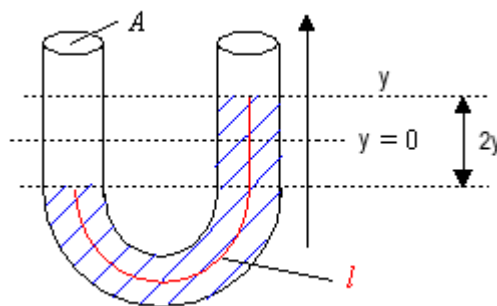



Abbildung 3.2-1. Wasserpendel Funktionsprinzip

Die Videoanalyse und die anschließende dynamische Modellierung des hier dargestellten Wasserpendel-Experiments mittels Tracker basieren auf einem im Physikkolabor aufgenommenen Videoclip. Die Flüssigkeit (Wasser) wurde gefärbt, um einen besseren Kontrast/eine bessere Differenzierung im Bild zu erreichen. Außerdem wurde ein kleiner (vernachlässigbarer) Ball hinzugefügt. Dadurch steht ein besserer Markierungs-/Anhaltspunkt für die Videoanalyse zur Verfügung (Abbildung 3.2-2). Die Analyseschritte verlaufen sehr ähnlich wie die in Abschnitt 3.1 erläuterten Analyseschritte. Auch bei dem

ausgewählten Videoclip funktioniert die automatische Analyse mittels Tracker hervorragend, ohne zusätzliche Einstellungen oder Anpassungen vornehmen zu müssen. Für die dynamische Modellbildung von gedämpften Schwingungen werden noch ein paar physikalische Größen benötigt, z. B. das Flüssigkeitsmaß  $m_{Fl}$ , das in Tracker über direkte Messungen des Videoclips abgeleitet werden kann, sowie die Länge  $l$  des Rohres, das mit Flüssigkeit gefüllt ist. Diese Größen gilt es zu bestimmen. Das U-Rohr besteht aus einem Halbkreis und zwei seitlichen Geraden. Für die Bestimmung des Radius des U-Rohrs stellt Tracker ein Kreisaneignungs-Werkzeug (Circle Fitter) zur Verfügung. Über die Symbolleiste  => *Maßwerkzeuge* => *Circle Fitter* wird dem Projekt ein Circle Fitter hinzugefügt (Abbildung 3.2-2). Über die Tastenkombination *Umschalt+Klick* können drei Punkte im Bild positioniert werden. Durch Ziehen an den Punkten kann die Größe des Kreises angepasst werden. Dies ist auch über entsprechende Eingaben in der dynamischen Symbolleiste möglich. Hat man den Kreis an das U-Rohr angepasst, kann der Radius abgelesen und der Halbumfang des Kreises berechnet werden.

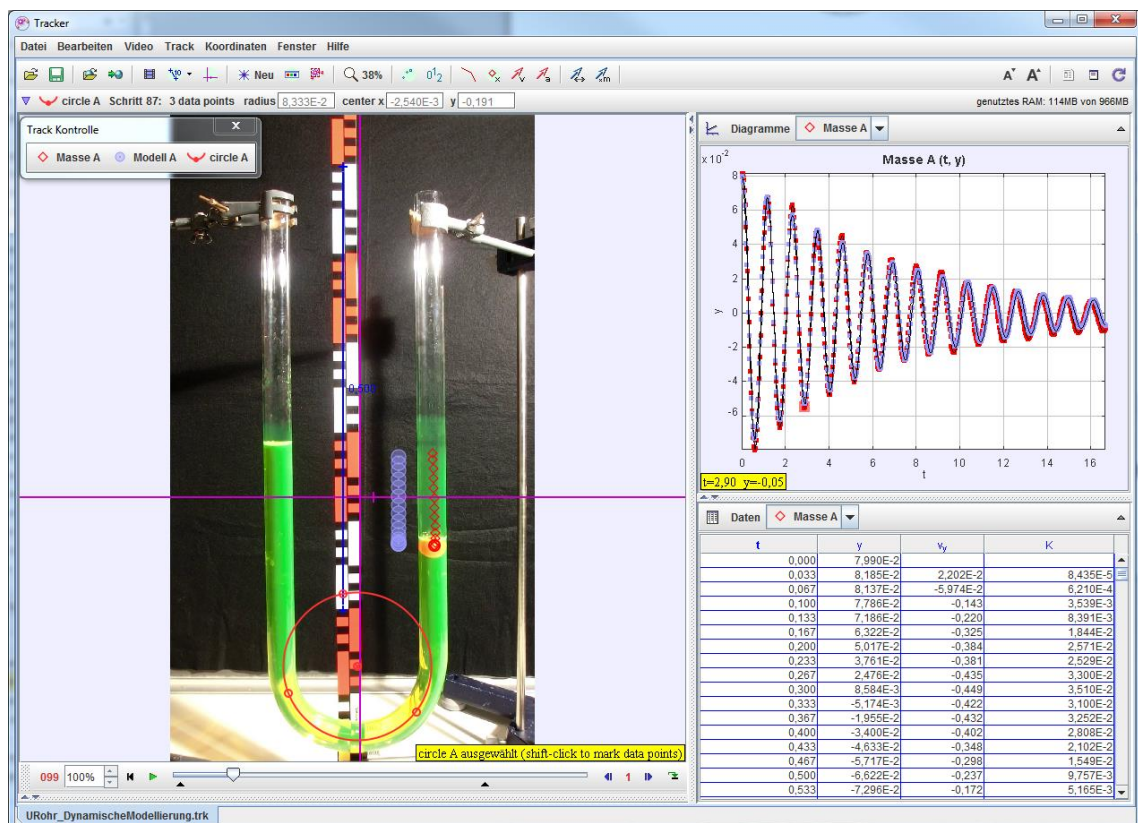

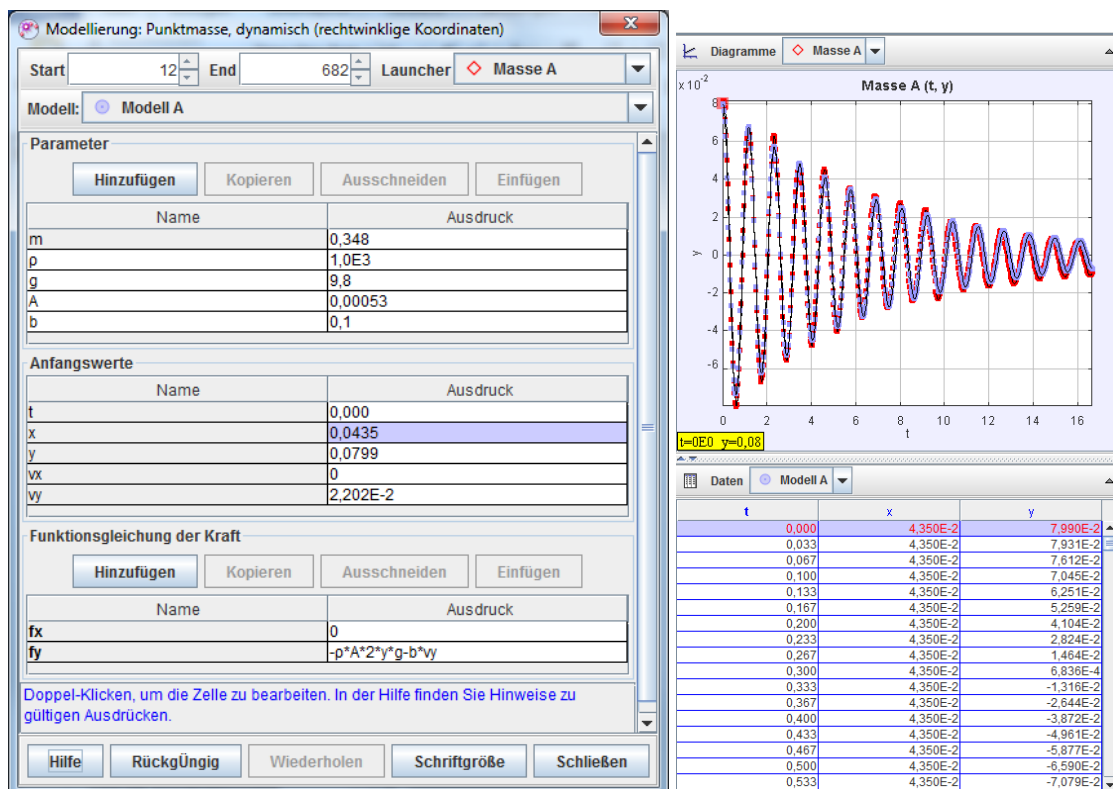


Abbildung 3.2-2. Wasserpendel Analyse und dynamische Modellierung in Tracker

Mithilfe eines Kalibrierungsmaßbandes (siehe Kapitel 2.4.5) kann die restliche seitlich gefüllte Rohrlänge gemessen und so die Länge  $l$  bestimmt werden. Da der Videoclip

vorab über den im Videoclip hinterlegten Maßstab kalibriert wurde, entsprechen die gemessenen Zahlenwerte in etwa den realen Zahlenwerten. Die Messfehler, die sich in den verschiedenen Schritten noch aufsummieren, sind in diesem Fall nicht sehr klein. Auch der Rohrdurchmesser könnte so gemessen werden, jedoch wären bei dem kleinen Rohrquerschnitt die Messfehler noch größer als bei der Bestimmung der Länge  $l$ . In diesem Fall wurde der innere Rohrdurchmesser physikalisch im Labor gemessen. Daraus können das Volumen und durch die bekannte Dichte des Wassers anschließend die Flüssigkeitsmaße  $m_{FL}$  bestimmt werden. Die Flüssigkeitsmaße  $m_{FL}$ , die sowohl in der Punktmasse A als auch in dem Modell A eingetragen werden, werden im nächsten Schritt über die Symbolleiste  => *dynamisches Modell* zwecks dynamischer Modellbildung hinzugefügt (Abbildung 3.2-3a).



a) Dialog: dynamische Modellierung

b) t-y-Diagramm: Masse A im Vergleich mit dem dynamischen Modell A (violett)

Abbildung 3.2-3. Wasserpendel – dynamische Modellierung

Die bekannten Parameter und die entsprechenden Anfangswerte werden im Modellierungsdialog eingetragen. Ebenso wird für die Kraftfunktion (entsprechend der y-Achse) die Formel eingetragen. Hierbei gilt es zu beachten, dass es sich um gedämpfte Schwingungen handelt und zudem eine Reibungskraft (Viskosereibung)/abschwächende Kraft

$F_{VR} = -b \cdot v$  zu berücksichtigen ist. Dabei ist  $b$  die entsprechende Dämpfungskonstante. Die Rückstellkraft wäre wie folgt zu berechnen:

$$F_R = -m_{Fl} \cdot g = -\rho \cdot A \cdot 2 \cdot y \cdot g - b \cdot v$$

Im Modellierungsdialogfenster lässt sich die dynamische Modellierung starten. Das Ergebnis der grafischen Darstellung sollte am besten mit dem t-y-Diagramm der Masse A (rot) verglichen werden (Abbildung 3.2-3b). Kleine Parameteranpassungen können notwendig sein, um eine größtmögliche Deckungsgleichheit zu erreichen. Das Ergebnis der dynamischen Modellierung ist zufriedenstellend und das Modell mit dem durch die Tracker-Videoanalyse berechneten Bewegungsablauf der Masse A vergleichbar.

### 3.3 Loopingbahn

Einfaches Looping besteht aus einer schiefen Ebene als Zufahrt, einer kreisförmigen Schraube und einer waagerechten Abfahrt. In der schiefen Ebene wird die potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Als zusammengesetzte Bewegung ist die Betrachtung der Loopingbahn für SuS interessant.

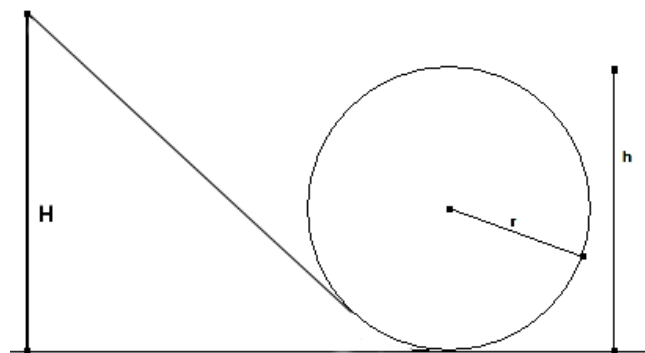



Abbildung 3.3-1. Looping

Die Analyse des im Labor aufgenommenen Videoclips mittels Tracker hat auch bei diesem Beispiel anhand der Befolgung der bereits geschilderten **Die Analyseschritte:**

in Abschnitt 3.1 und der automatischen Videoanalyse sehr gut funktioniert. Die Spuren aller markierten Punkte werden über das Symbol  angezeigt und die dazugehörigen Geschwindigkeitsvektoren eingeblendet. Eine genaue Betrachtung der Geschwindigkeitsvektoren (Abbildung 3.3-2) führt zu der Erkenntnis, dass die Geschwindigkeit des



Balles vom niedrigsten Punkt der Bahn bis zum höchsten Punkt des Loopings ab- und danach wieder zunimmt. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die benötigte Zentripetalkraft im höchsten Punkt des Loopings am geringsten und am Ein- und Ausgang am größten ist. Die Gewichtskraft des Wagens ist überall gleich groß.

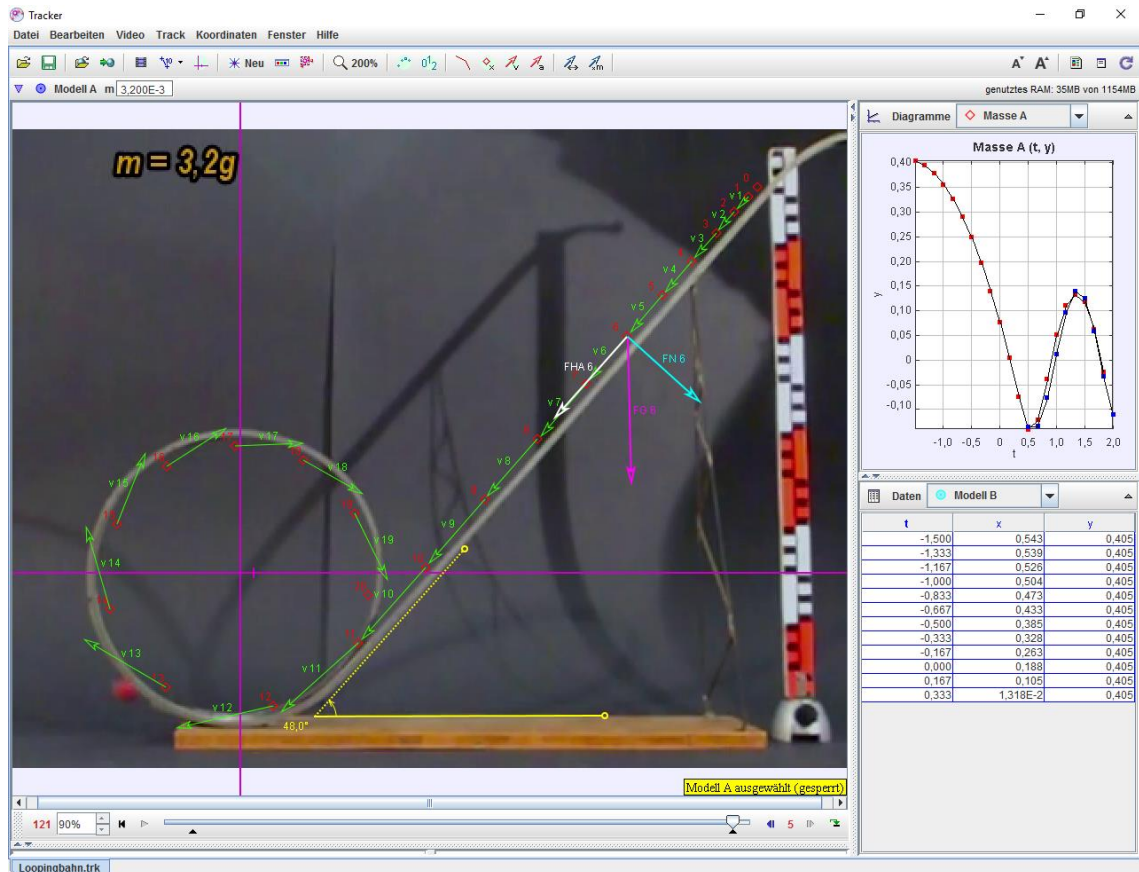


Abbildung 3.3-2. Looping im Tracker

In Abbildung 3.3-4 wurden statt der Geschwindigkeitsvektoren Beschleunigungsvektoren eingeblendet. Um die Darstellung etwas übersichtlicher zu gestalten, wurden die Beschleunigungsvektoren über die von Tracker angebotene Möglichkeit (Abbildung 3.3-3) der Vektorenvergrößerung verdoppelt.



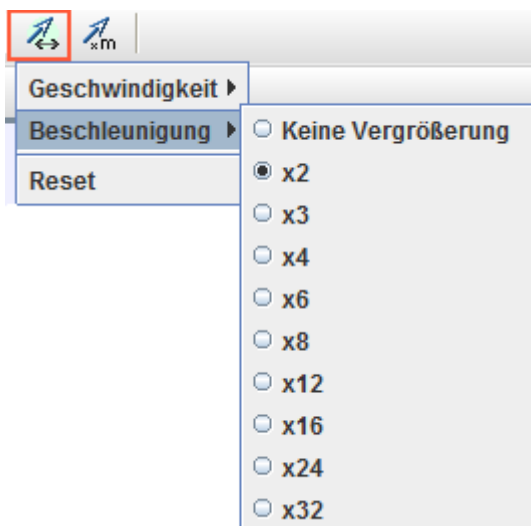


Abbildung 3.3-3. Vektorenvergrößerung

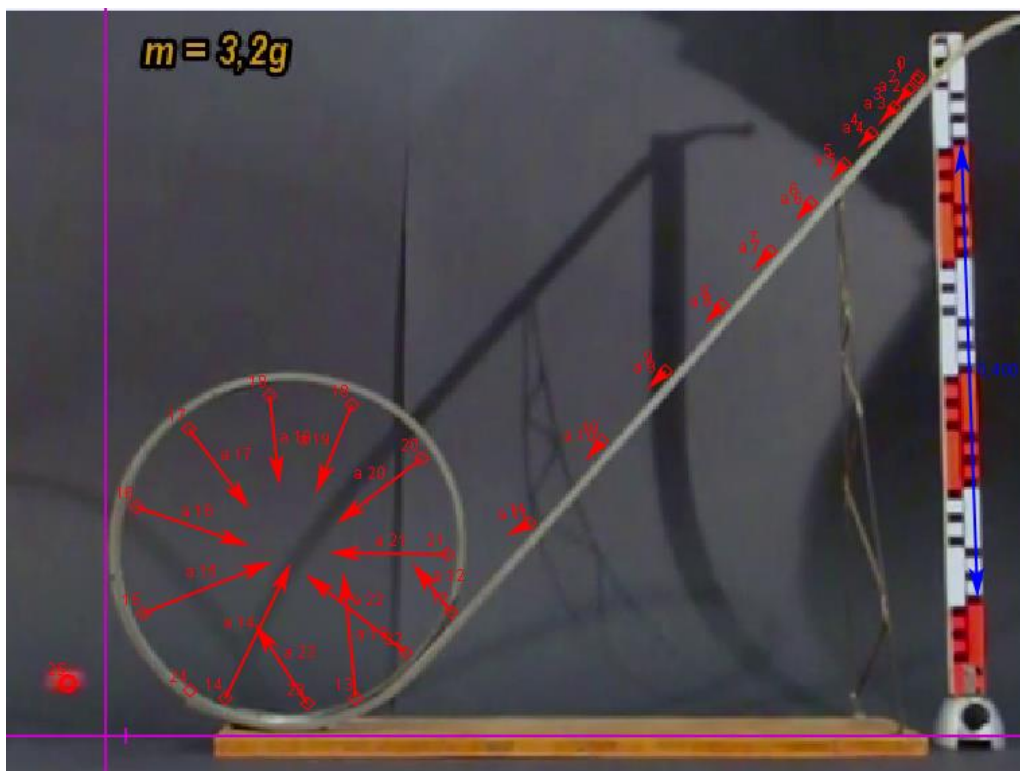
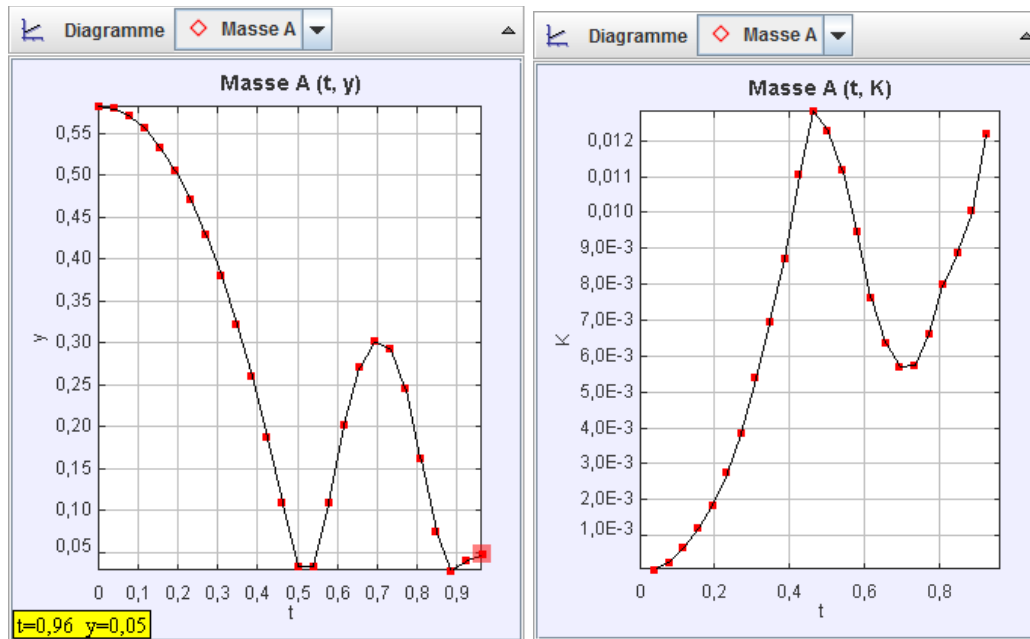


Abbildung 3.3-4. Loopingbahn. Beschleunigung (2x vergrößert)

In dem Bewegungsdiagramm (Abbildung 3.3-5a) sind drei Einzelbewegungen zu erkennen: Die Bewegung des Balls in schiefer Ebene (in der Zeit 0-0,5 s), gefolgt von einer kreisförmigen Bewegung (in der Zeit 0,5-0,9 s) und anschließend die waagerechte Abfahrt.

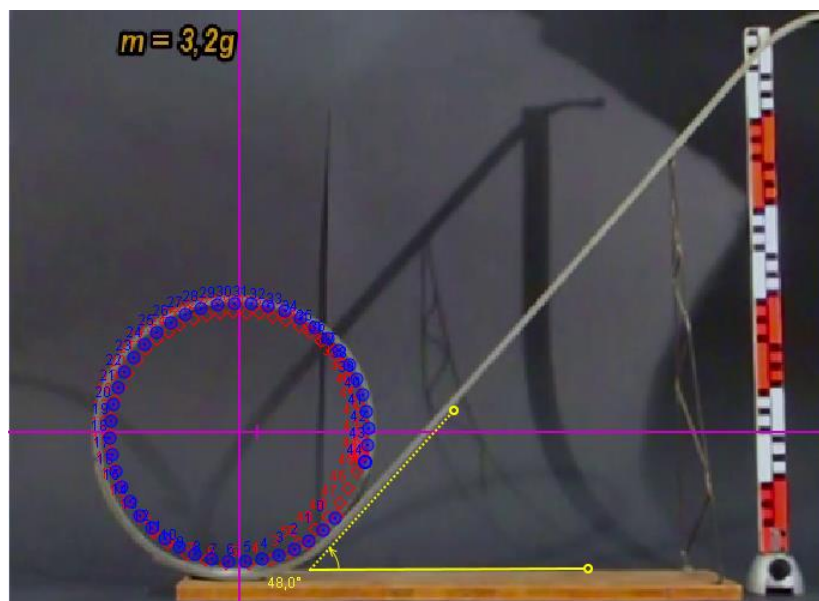


a) Diagramm: t-y

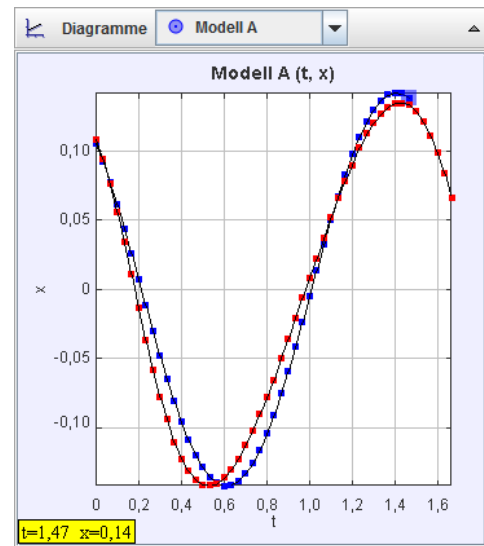
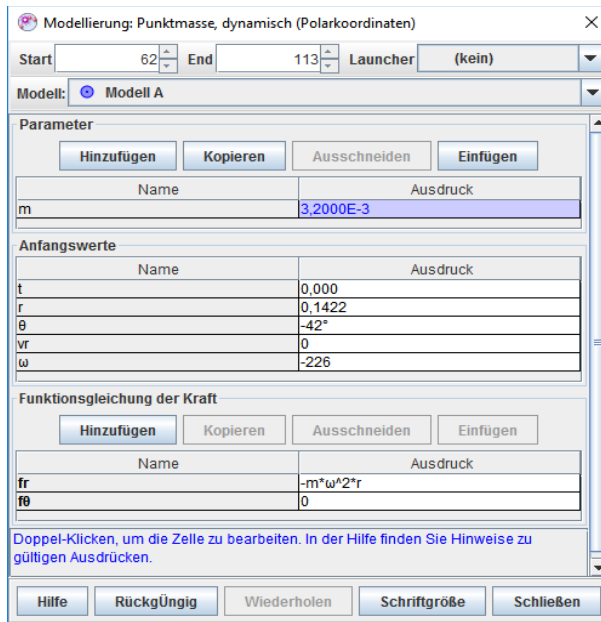
b) Diagramm: t-K Kinetische Energie

Abbildung 3.3-5. Loopingbahn Diagramme

Im Diagramm (Abbildung 3.3-5b) ist der Verlauf der kinetischen Energie eingezeichnet. Auch hier ist gut zu sehen, wie die kinetische Energie in der schiefen Ebene stetig zunimmt, dann im obersten Teil des Kreises wieder auf ein Minimum zurückfällt und anschließend wieder zunimmt.



a) Dynamische Modellierung (Masse A-rot, Modell A-blau)



b) Dynamische Modellierung

c) Diag.: t-x (Masse A-rot, Modell A-blau)

Abbildung 3.3-6. Dynamische Modellierung, Polarkoordinaten (Kreisbahn)

Die Kreisbahnbewegung wurde basierend auf einem Polarkoordinatensystem dynamisch modelliert (Abbildung 3.3-6). Das Modell ist nicht vollständig deckungsgleich, aber formgleich. Die Modellbildung basiert auf der resultierenden Kreisbahnkraft  $F_{Res} = -m\omega^2r$ , wobei  $\omega$  die Kreisgeschwindigkeit ist und  $r$  der Radius des Kreises.

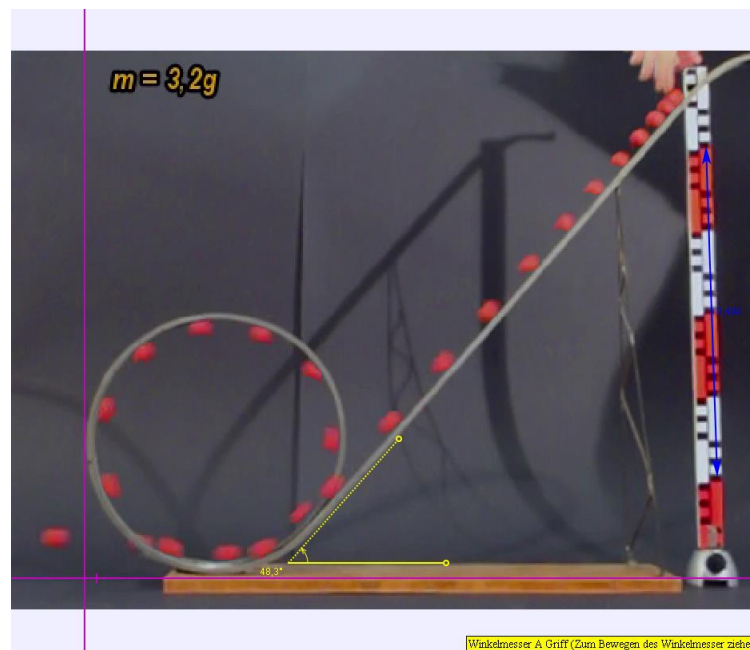


Abbildung 3.3-7. Stroboskopbild. Loopingbahn

Ein Stroboskopbild (siehe Kapitel 2.3.2), dargestellt in Abbildung 3.3-7, ist oft hilfreich, um Abläufe und die Erkennung von Bewegungstypen anhand der Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Positionen zu verdeutlichen.

Anhand dieser praktischen grafischen Darstellungen werden auch zusammengesetzte Bewegungen und Energieumwandlungsprozesse für die SuS anschaulicher und begreiflicher.

### 3.4 Freier Fall im Wasser

In diesem Video wird eine Rakete unter Wasser fallen gelassen, die daraufhin zu Boden sinkt. Bei diesem Beispiel kann der freie Fall in einer Flüssigkeit (Viskosität  $\eta$ ) beobachtet werden. Durch die Flüssigkeit erfährt die Rakete zusätzlich zur Schwerkraft  $\mathbf{mg}$  eine Reibungskraft  $-\gamma\mathbf{v}$ , wobei  $\gamma$  der Reibungskoeffizient der Flüssigkeit ist und  $\mathbf{v}$  die Sinkgeschwindigkeit der Rakete. Aufgrund der wirkenden Schwerkraft wird die Rakete nach unten beschleunigt. Allerdings wird die Beschleunigung immer kleiner, je schneller die Rakete sinkt, bis sich diese nur noch mit einer konstanten Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit bewegt. Die Schwerkraft  $F_G$  wird von der Reibungskraft  $F_R$  kompensiert.  $F_A$  ist die Auftriebskraft. Im konstanten Sinken gilt folgendes Kräftegleichgewicht:  $F_G = -F_A - F_R$

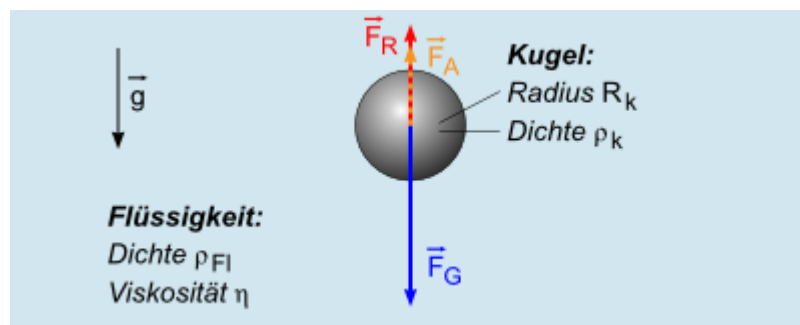



Abbildung 3.4-1. In einer Flüssigkeit sinkende Kugel<sup>27</sup>

Die Analyse des im Schwimmbad aufgenommenen Videoclips mittels Tracker hat unter Befolgung der in Abschnitt 3.1 angeführten Analyseschritte und unter Anwendung der

<sup>27</sup> (Das Gesetz von Stokes)

automatischen Videoanalyse sehr gut funktioniert. In der Aufnahme ist eine kleine perspektivische Verzerrung erkennbar, die durch eine ungeeignete Positionierung der Kamera zustande gekommen ist. Diese konnte in Tracker durch die Schrittfolge *Filter* => *Perspektive* (siehe Abbildung 2.3-11) sehr schnell eliminiert werden. Die Spuren aller markierten Punkte wurden über dem Symbol  angezeigt und die dazugehörigen Geschwindigkeitsvektoren eingeblendet.

Dazu wurden zwei dynamische Modelle konstruiert. Das in Abbildung 3.4-2 (gelbe Markierungen) dargestellte Modell dient der Beschreibung des Ablaufs anhand der Kräfte. Das andere dynamische Modell 2 wurde unter Vernachlässigung der Reibungskraft konstruiert, um Vergleiche ziehen zu können (siehe Abbildung 3.4-2 - grüne Markierungen).

In Abbildung 3.4-3a wird der freie Fall mit einer entgegenwirkenden Kräfte resultante modelliert. Die resultierende Kraft lässt sich wie folgt vereinfachen:

$$F_{res} = -m \cdot g - b \cdot v$$

Dabei ist **b** die entsprechende Reibungskonstante der Reibungskraft, die der Gewichtskraft entgegenwirkt.

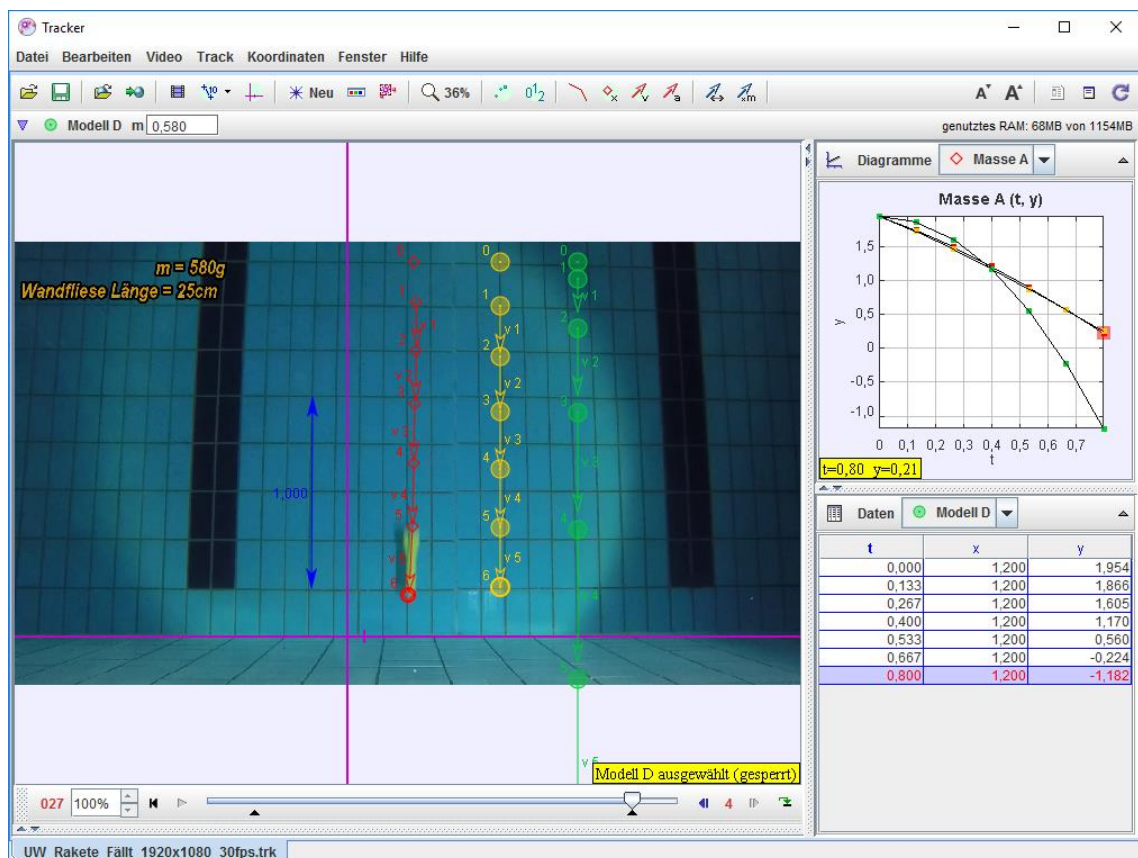
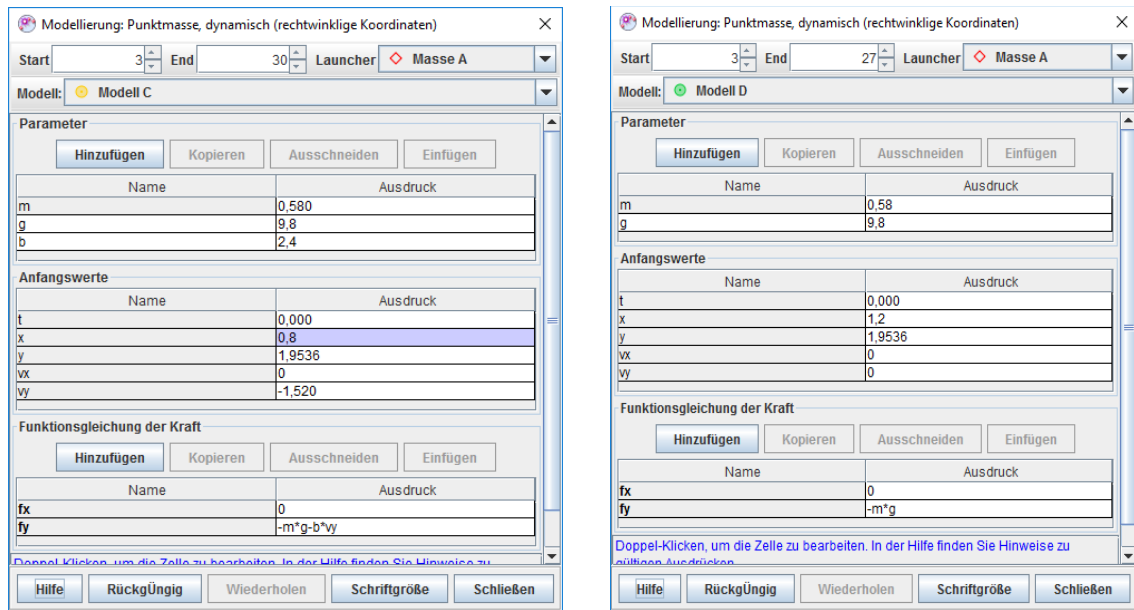
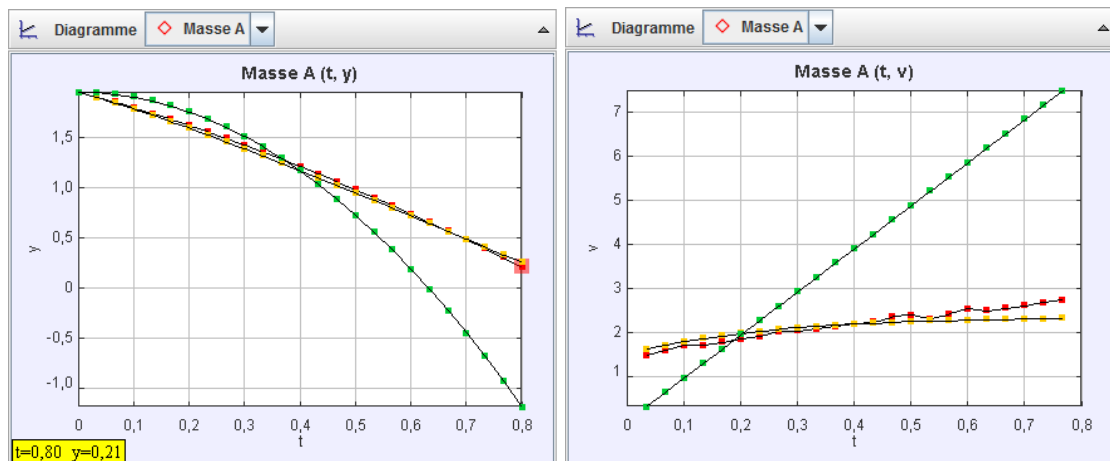


Abbildung 3.4-2. Freier Fall unter Wasser



a) dynamische Modellierung Rakete unter Wasser      b) dynamische Modellierung freier Fall

Abbildung 3.4-3. Rakete Freier Fall. Dynamische Modellierung



a) Diagramm: t-y (Vergleich Modelle – Masse)      b) Diagramm: t-v (Vergleich Modelle – Masse)

Abbildung 3.4-4. Rakete Freier Fall. Diagramme

Bei der Modellierung (Abbildung 3.4-3b) werden die entgegenwirkenden Kräfte vernachlässigt und das Medium idealisiert, um einen Vergleich ziehen zu können. Wie in Abbildung 3.4-4a dargestellt, ist der Verlauf des Modells (gelb) dem der Punktmasse A (Rakete) sehr ähnlich. Der Unterschied zu einem idealen freien Fall ohne Reibung ist deutlich zu erkennen. Im Wasser braucht die Rakete ca. 0,2 s länger, um den Boden zu erreichen. Auch die Geschwindigkeitsänderung im Wasser hält sich in Grenzen im Vergleich zu der bei einer in der Luft frei fallenden Rakete



### 3.5 Aufsteigende Rakete unter Wasser

Der Auftrieb eines von Wasser umgebenen Körpers wirkt der Gewichtskraft entgegen und entspricht der Gewichtskraft des verdrängten Wassers. Ist die Auftriebskraft  $F_A$  größer als die Gewichtskraft  $F_G$ , steigt der Gegenstand auf:  $F_A > F_G$ . Dieses archimedische Prinzip gilt es im nächsten Videoanalyse-Experiment zu beobachten. Eine weitere leichte und mit etwas Luft im Inneren gefüllte Rakete wird auf dem Schwimmbadboden nach oben gerichtet festgehalten. Lässt man sie los, steigt sie relativ geradlinig auf.

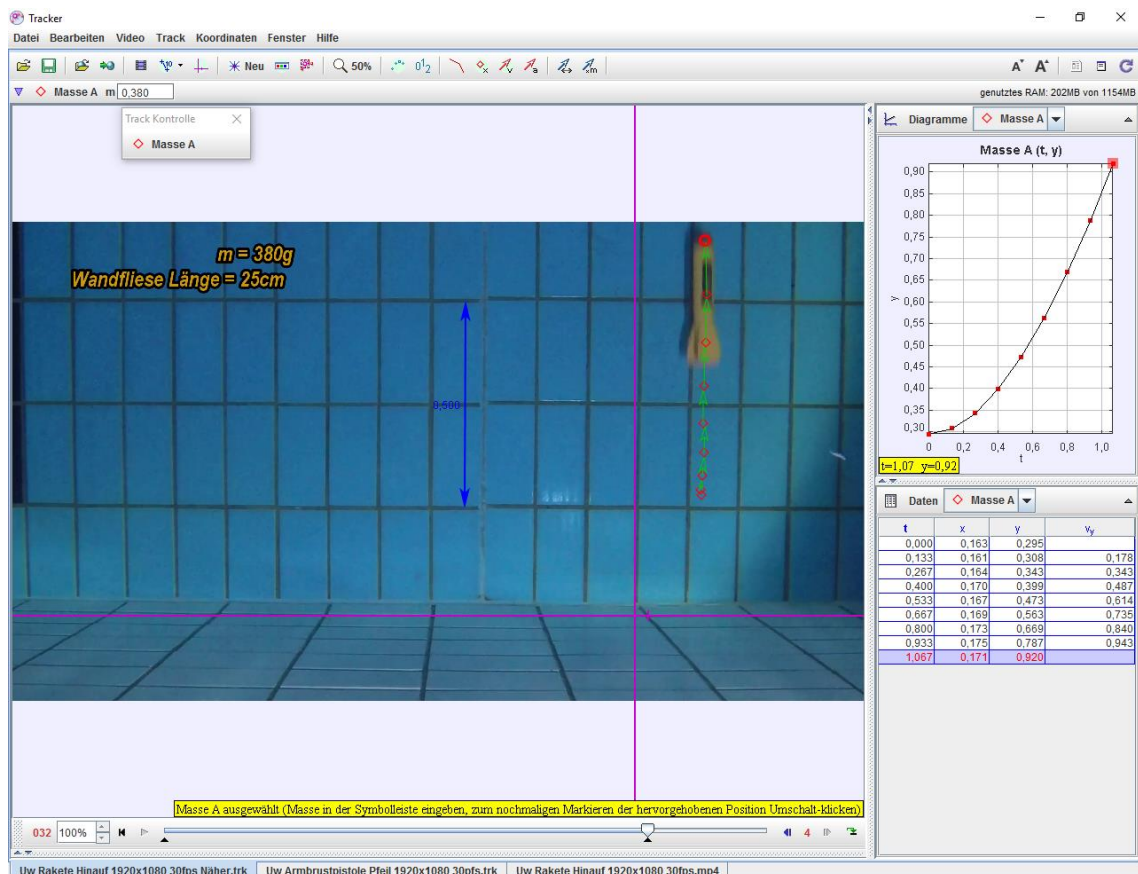
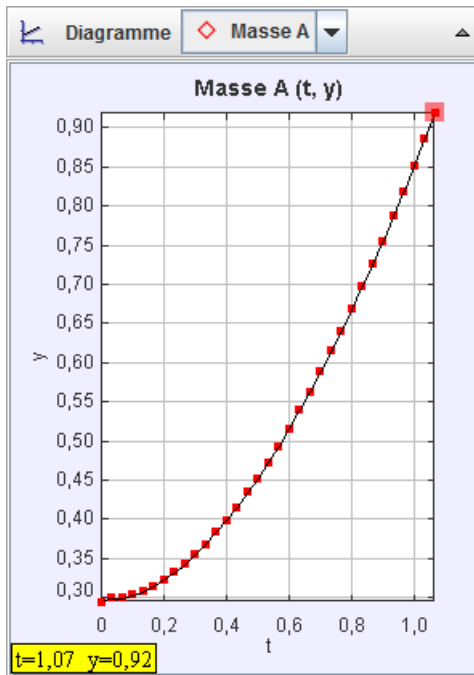
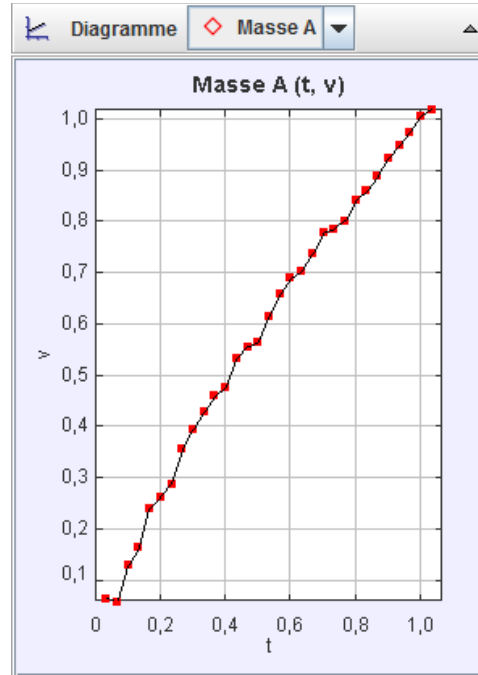


Abbildung 3.5-1. Aufsteigende Rakete unter Wasser



a) Diagramm Masse A: t-y



b) Diagramm Masse A: t-v

Abbildung 3.5-2. Aufsteigende Rakete. Diagramme

In dem Diagramm in Abbildung 3.5-2a ist eine typische Parabel für die Ort-Zeit-Funktion zu erkennen. Darin ist außerdem zu erkennen, dass die Geschwindigkeit relativ schnell ansteigt und einer Gleichung der Form  $v(t) = v_0 + a \cdot t$  entspricht.

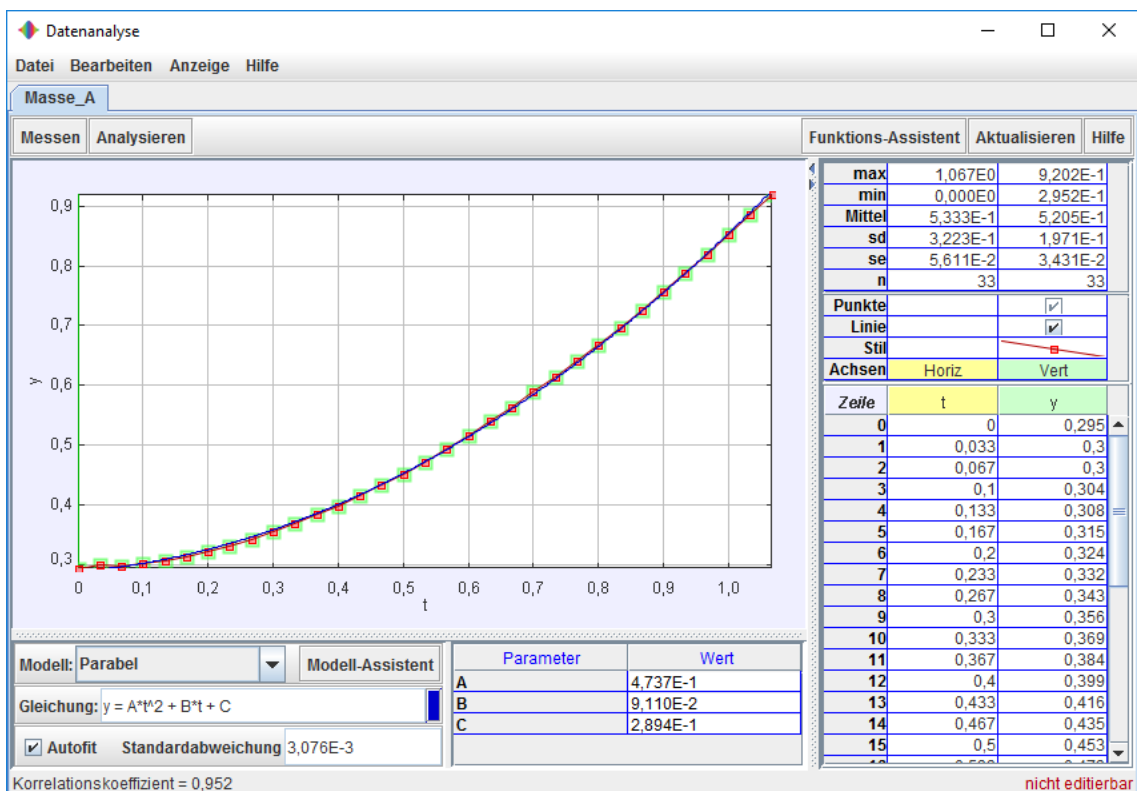




Abbildung 3.5-3. Aufsteigende Rakete. Kurvenfitt im t-y-Diagramm

Mithilfe des Datenanalyse-Dialogs (Abbildung 3.5-3) wurde ein automatischer Kurvenfitt durchgeführt.

So erhält man relativ schnell die Parabelgleichung:

$$y = 0,4737 t^2 + 0,0911t + 0,2894.$$

Die Bewegungskurve einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung lautet:

$$s(t) = \frac{a}{2}t^2 + v_0t + s_0$$

Daraus lassen sich Größen wie  $a$  und  $v_0$  ablesen.

### 3.6 Schräger Wurf unter Wasser

Der schräge Wurf ist eine Kombination aus einer gleichförmigen Bewegung in x-Richtung und einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in y-Richtung.

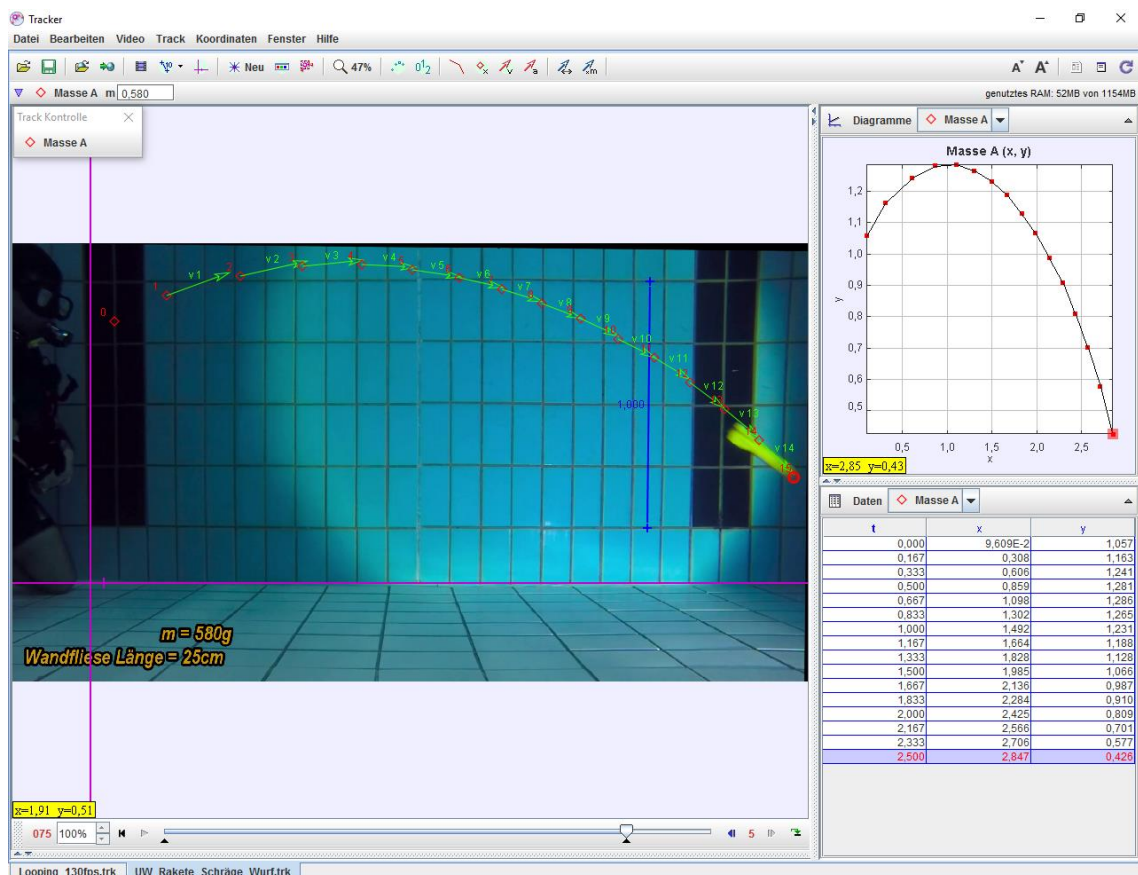
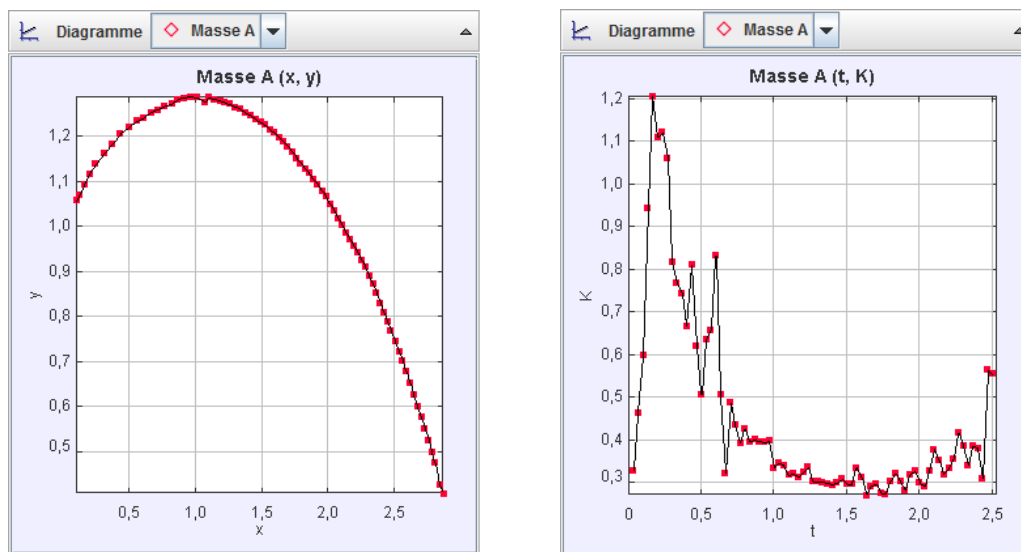


Abbildung 3.6-1- Schräger Wurf unter Wasser

Die Wurfparabel ist die typische Flugbahn für einen Körper beim Wurf in einem homogenen Schwerfeld. Diese Wurfparabel lässt sich auch unter Wasser nachstellen. Bei dem Unterwasser-Experiment wurde eine Unterwasser-Rakete verwendet. Diese wurde extra dafür konstruiert, um unter Wasser geworfen zu werden (ein Spielzeug für Taucher). Im Inneren der Rakete befinden sich ein beweglicher schwerer Kern und Wasser. Dieser bewegliche Kern führt dazu, dass es besonders lange Parabelwürfe unter Wasser gibt (Abbildung 3.6-1).

Die automatische Analyse mit Tracker verläuft auch in diesem Fall ohne Probleme. Trotz des Mediums Wasser zeigt sich eine typische Wurfparabel (x-y-Diagramm unter Abbildung 3.6-2a), was mit Sicherheit auf die Raketenkonstruktion zurückzuführen ist. Auch das Abhängigkeitsverhältnis Zeit-Kinetische Energie (Abbildung 3.6-2b) ist in diesem Diagramm interessant und verdeutlicht, dass es sich hier um das Medium Wasser und nicht um das Medium Luft handelt.



a) Diagramm: x-y Wurfparabel

b) Diagramm: t-K Kinetische Energie

Abbildung 3.6-2. Diagramme: Schräger Wurf unter Wasser

Ein Stroboskopbild (siehe Kapitel 2.3.2) mit einer Schrittweite von 7 wurde in Abbildung 3.6-3 dargestellt. Hier zeigen sich ein paar Schwächen von Tracker, aber die Ergebnisse sind gut verwertbar.

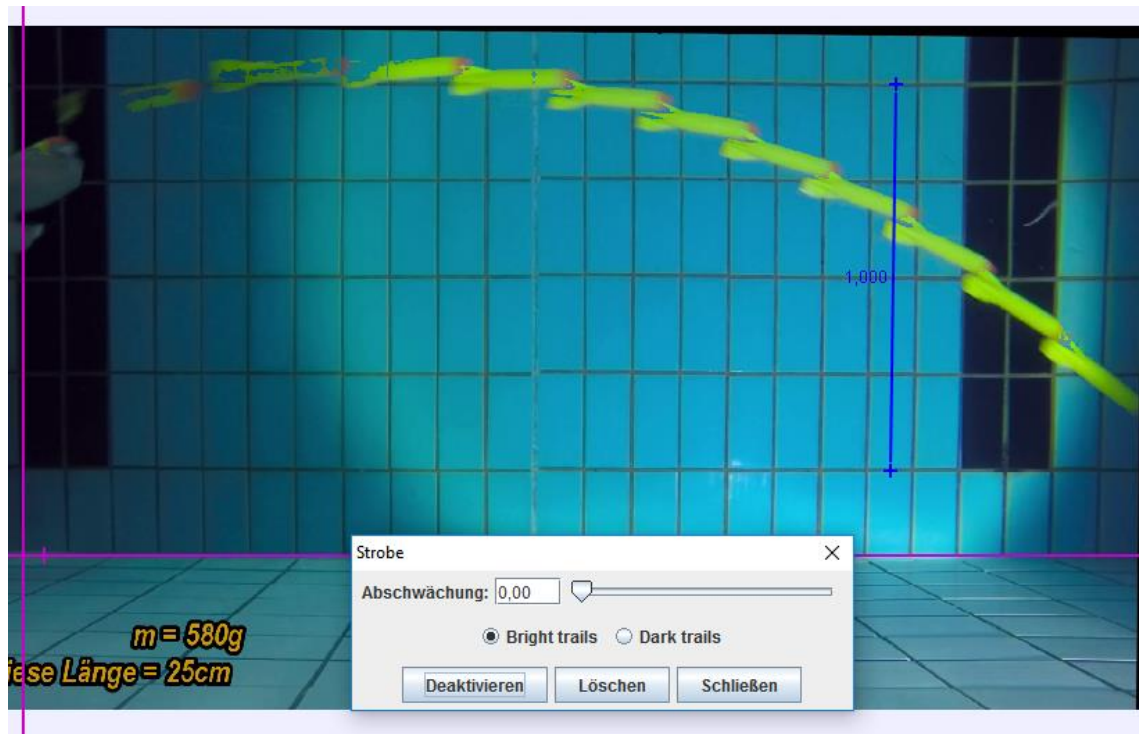


Abbildung 3.6-3. Stroboskopbild: Schräger Wurf unter Wasser

### 3.7 Armbrustpfeil unter Wasser

In diesem Unterwasser-Experiment wurde eine 80 lb Armbrustpistole aus Plastik auf einem Stativ montiert und der Schuss eines ca. 16 cm langen Plastikpfeils aufgezeichnet. Das Ergebnis war nicht so gut wie erhofft. Die Bahn, die der Pfeil durchläuft, ist relativ kurz und der Pfeil besonders schlecht erkennbar. Eine automatische Analyse funktioniert in diesem Beispiel nicht und eignet sich daher nur für eine manuelle Analyse.

Dabei wurden durch die Tastenkombination *Umschalt+Klick* alle Markierungsschritte (siehe Kapitel 2.4.9) so weit wie möglich manuell vollzogen. Durch die Anzeige des Flugverlaufs des Pfeils wird dessen Geschwindigkeit verdeutlicht. Nach einem sehr schnellen Start nimmt die Geschwindigkeit des Pfeils ziemlich schnell ab und geht dann in einen freien Fall über (Abbildung 3.7-1).

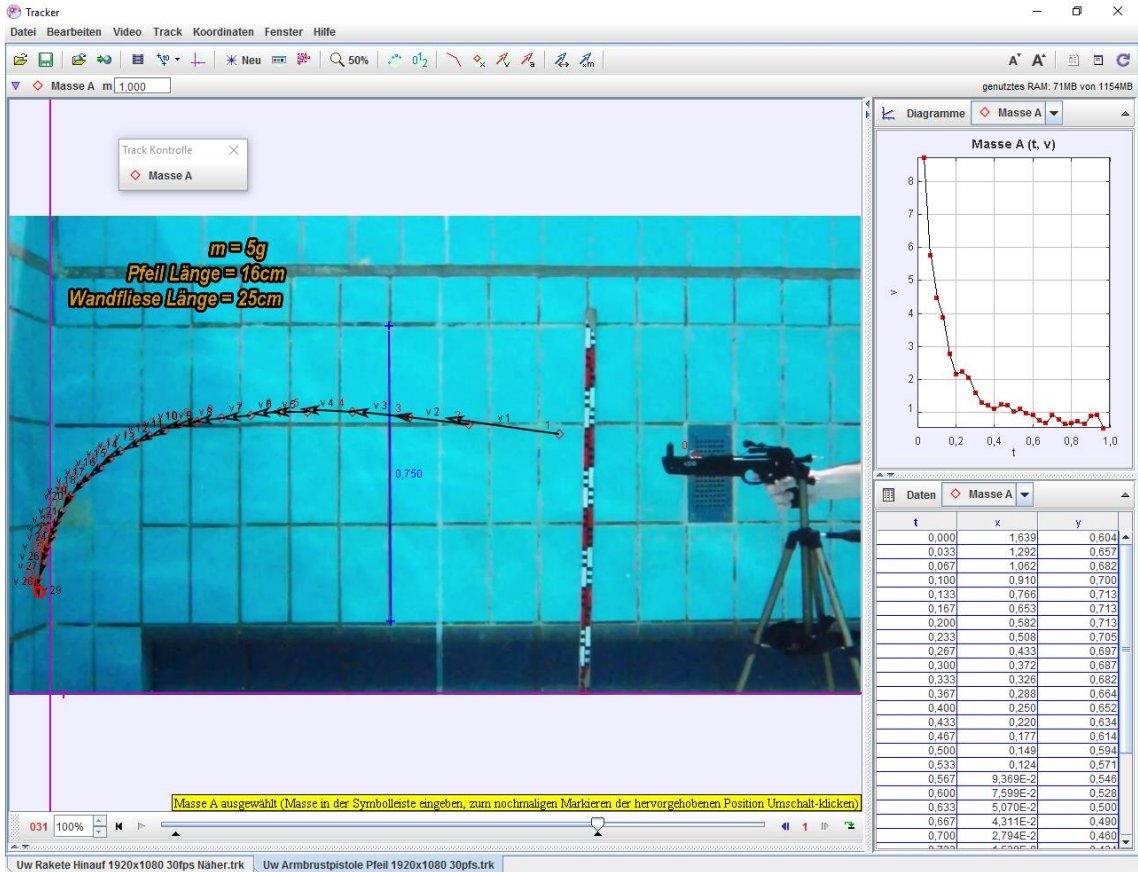
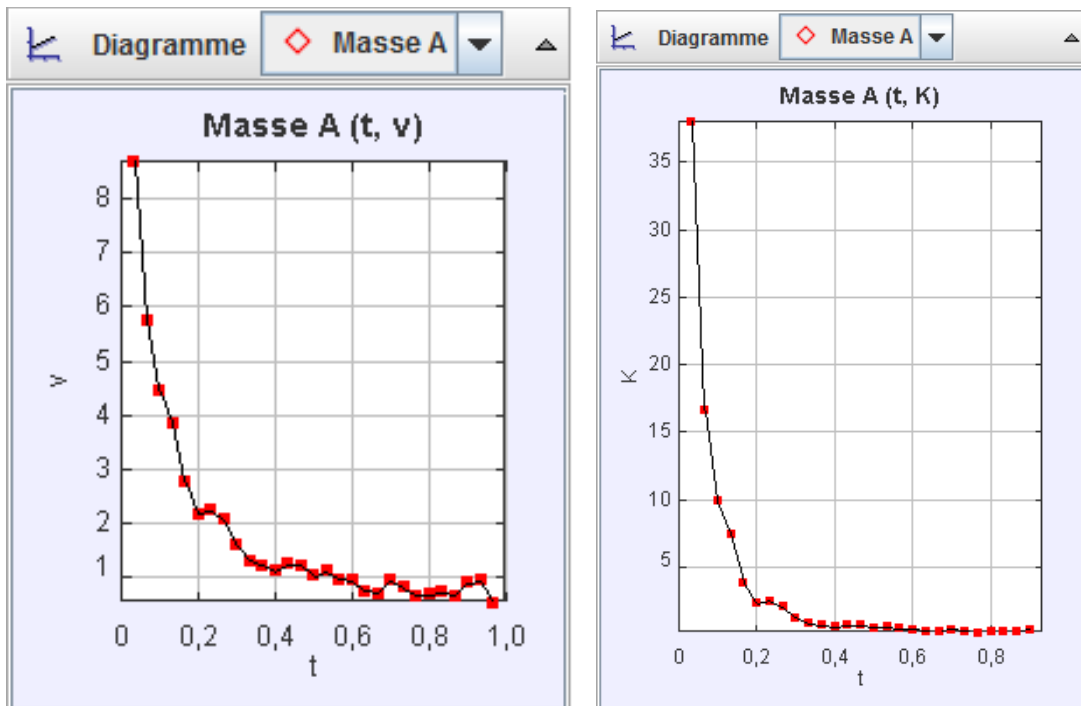


Abbildung 3.7-1. Armbrustpfeil unter Wasser



a) Diagramm: v-t

b) Diagramm: t-K Kinetische Energie

Abbildung 3.7-2. Diagramme: Armbrustpfeil unter Wasser

Das v-t-Diagramm (Abbildung 3.7-2a) verdeutlicht sowohl den schnellen Geschwindigkeitsabfall als auch die Fehler der manuellen Analyse. Im Diagramm (Abbildung 3.7-2b) ist nochmals der Abfall der kinetischen Energie über die Zeit dargestellt.

## 4 Betrachtung der Messgenauigkeit

In einem Videoclip mit bekanntem Längenmaßstab wird die Länge am Bildschirm in Pixel gemessen, daher ist die Genauigkeit der Ortsbestimmung stark von der Qualität des Videomaterials abhängig. Aufgrund der Darstellung der Bildschirmkoordinaten in Pixel liegt der Messfehler bei mindestens einem Pixel.

Bei Videoaufnahmen ohne Bewegungsunschärfe, Kammefekte oder Kompressionsartefakten kann diese Genauigkeit tatsächlich erreicht werden. Ansonsten wird man, abhängig von der Größe und Schärfe des Objekts, oft auch fünf oder mehr Pixel als Messfehler annehmen müssen.<sup>28</sup>

Nach der Abschätzung des Ortsmessfehlers kann die Geschwindigkeit und Beschleunigung mittels des Differenzquotienten bestimmt werden. Die Fehlerfortpflanzung bei der Bildung von Differenzquotienten führt zu relativ großen Fehlern. Oft sind die Beschleunigungswerte nur qualitativ nutzbar, beispielsweise in Diagrammen.

Diese Methode ist auf beliebige Bewegungen anwendbar, ohne die Bewegungsgesetze kennen zu müssen. Wenn die Bewegungsgesetze bekannt sind, lässt sich der Fehler besser eingrenzen. Eine ausführliche Betrachtung der Fehlerrechnung bei der Videoanalyse ist bei (Suleder, 2010, S. 16) zu finden und wird hier nicht weiter erläutert.

---

<sup>28</sup> (Suleder, 2010, S. 16)

## 5 Abschließendes Fazit

Mehr denn je besteht der Anspruch an den heutigen Unterricht darin, die SuS zum Denken und eigenständigen Handeln anzuregen sowie ihren Forschergeist zu wecken.

Tracker als ein kostenfreies Videoanalyse- und Modellbildungsprogramm bietet eine hervorragende Möglichkeit, die digitale Welt der Videoclips und Bilder in den Physikunterricht zu integrieren und die SuS miteinzubeziehen, denn die Arbeit mit selbst gedrehten Videos macht viel Spaß und ist für SuS faszinierend und motivierend.

Als ein zweidimensionales und berührungsloses Mess- und Modellbildungsverfahren eignet sich Tracker für Lehrerinnen und Lehrer, um vorgefertigte Videobeispiele, z. B. vom OSP-Digital Library Browser, im Unterricht vorzustellen. Auch für SuS ist die Software geeignet, denn die aufgenommenen Videos können ohne die Notwendigkeit weiterer Videoschnitt- oder Bearbeitungsprogramme direkt geöffnet und analysiert werden.

Es wurde in dieser Arbeit versucht, eine Vielzahl an Tracker-Funktionen vorzustellen und zu erklären. Anhand von Standardbeispielen aus dem Physikkabor und Unterwasser-Experimenten als ein selten benutzter Bereich in der Videoanalyse wurden die Analyse- und Modellierungsschritte sowie die Darstellungskompetenzen von Tracker erläutert.

Die Fülle an Funktionen, die Tracker mitbringt, könnte anfangs etwas verwirrend wirken, jedoch gelangt man als Anfänger schnell zu ersten Erfolgen und Ergebnissen. Die Hinweistexte sind sinnvoll und nicht störend. Die Entwicklung von Tracker ist auf einem sehr stabilen Stand gelangt. Dennoch gibt es bei der Videoanalyse mit Tracker noch immer ein paar Schwachstellen und Hindernisse, die selten auch zu Frustmomenten führen können. So kann es passieren, dass z. B. der Ladevorgang von Videoclips hängen bleibt oder die Eingabe von Parametern und Anfangswerten in den Modellierungsdialogen nicht funktioniert. Ein klassischer Programmneustart schafft hier Abhilfe. Jedoch ist Tracker ein Programm, das ständig weiterentwickelt wird, sodass regelmäßig Verbesserungen durchgeführt und neue Funktionen erstellt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Tracker eine benutzerfreundliche Software ist, die sowohl für Videoanalyse- und Modellbildungskenner als auch für Neulinge und Anfänger auf diesem Gebiet zu empfehlen ist. Zudem hat die Software, wie bereits erwähnt, den Vorteil, dass sie kostenfrei heruntergeladen und somit direkt mit der Videoanalyse begonnen werden kann.

## Literaturverzeichnis

- AVCH Information Web Seite.* (2017). Abgerufen am 01. 02 2017 von <http://www.avchd-info.org/>
- Das Gesetz von Stokes.* (2017). Abgerufen am 01. 02 2017 von <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4978>
- Kuhn, J. (2015). *Experimentieren mit Smartphones und Tablets.* (Bd. Themenheft Naturwissenschaften im Unterricht 26/145). Friedrich Verlag.
- Michel, C. (2007). *Videoanalyse zweidimensionaler Bewegungen mit dynamisch ikonischen Repräsentationen im Physikunterricht.*
- Open Source Physics (OSP).* (2017). Abgerufen am 01. 02 2017 von <http://www.opensourcephysics.org/>
- Sauer, M. (2013). *measure Dynamics Das Tutorial.* Abgerufen am 01. 02 2017 von [http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Zula\\_Tutorial.pdf](http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Zula_Tutorial.pdf)
- Schulphysik Wiki-Tracker.* (01. 02 2017). Von [http://schulphysikwiki.de/index.php/Bewegungsanalyse\\_mit\\_einem\\_Video\\_\(Tracker\)](http://schulphysikwiki.de/index.php/Bewegungsanalyse_mit_einem_Video_(Tracker)) abgerufen
- Suleder, M. (2010). *Videoanalyse und Physikunterricht.* Aulis Verlag in Stark Verlag GmbH.
- Tracker Experimente Library: Wasserstoff Spektrum. (2017). <http://physlets.org/tracker/library/experiments/Hydrogen.zip>. Abgerufen am 01. 02 2017 von <http://physlets.org/tracker/library/experiments/Hydrogen.zip>
- Tracker Help. (2017). Abgerufen am 01. 02 2017 von [physlets.org/tracker:](http://physlets.org/tracker/) [http://physlets.org/tracker/tracker\\_help.pdf](http://physlets.org/tracker/tracker_help.pdf)
- Videotechnik-Kompodium.* (2017). Abgerufen am 01. 02 2017 von <https://kompodium.infotip.de/videotechnik.html>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.2-1. Convideo .....	19
Abbildung 2.1-1 Tracker Installation.....	21
Abbildung 2.1-2 Tracker Pfad für die portable Installation.....	22
Abbildung 2.1-3. Spracheinstellungen.....	23
Abbildung 2.1-4.Video-Engine Voreinstellungen .....	24
Abbildung 2.1-5. Speichereinstellungen.....	25
Abbildung 2.2-1.Tracker Oberfläche und Bedienelemente .....	26
Abbildung 2.2-2. Konfiguration von Ansichtsfenstern .....	28
Abbildung 2.3-1. Videoplayer .....	28
Abbildung 2.3-2.Optionen der Positionsanzeige .....	28
Abbildung 2.3-3. Intervall eingrenzen .....	29
Abbildung 2.3-4. Optionen der Zeitleiste .....	29
Abbildung 2.3-5. Videoplayer bewegen .....	29
Abbildung 2.3-6. Video Export/Schnitt.....	30
Abbildung 2.3-7. Filterfunktionen .....	31
Abbildung 2.3-8. Filter: Helligkeit und Kontrast .....	32
Abbildung 2.3-9. Filter: Strobe.....	32
Abbildung 2.3-10. Bildtransformation Filter.....	33
Abbildung 2.3-11. Filter Perspektivische Verzerrungen .....	34
Abbildung 2.3-12. Filter Radiale Verzerrung.....	34
Abbildung 2.4-1. Tracker Symbolleisten.....	35
Abbildung 2.4-2. Tracker OSP Browser und Export Dialog.....	37
Abbildung 2.4-3.Tracker Clip-Einstellungen .....	38
Abbildung 2.4-4. Kalibrierungswerkzeuge hinzufügen.....	38
Abbildung 2.4-5. Kalibrierungswerkzeuge.....	39
Abbildung 2.4-6. Anpassung und Verschiebung der Kalibrierungswerkzeuge.....	39
Abbildung 2.4-7. Neigungskorrektur.....	40
Abbildung 2.4-8. Optionen der Kalibrierungswerkzeuge.....	40
Abbildung 2.4-9. Kalibrierungswerkzeug: Ursprungsverschiebung .....	41
Abbildung 2.4-10. Kalibrierungswerkzeug: Kalibrierungspunkte .....	41
Abbildung 2.4-11. Eigenschaften des Koordinatensystems .....	42
Abbildung 2.4-12. Das Koordinatensystem.....	43
Abbildung 2.4-13.Weitere Eigenschaften des Koordinatensystems.....	43
Abbildung 2.4-14.Symbolleistenfunktion Neu.....	44
Abbildung 2.4-15. Die Punktmasse .....	44
Abbildung 2.4-16. Schwerpunkt .....	44
Abbildung 2.4-17. Markierungsschritte.....	46
Abbildung 2.4-18. Autotracker Dialogfenster .....	48
Abbildung 2.4-19. Autotracker Übereinstimmungsgüte.....	49
Abbildung 2.4-20. Autotracker Suche .....	49

Abbildung 2.4-21. Automatische Aktualisierung .....	50
Abbildung 2.4-22. Vektoren und Vektorsummen .....	51
Abbildung 2.4-23. Farbprofil.....	52
Abbildung 2.4-24. Farbregion .....	53
Abbildung 2.5-1. Modellierungsdialoge .....	54
Abbildung 2.5-2. Zwei-Körper-System .....	56
Abbildung 2.6-1. Tracker Diagramme .....	57
Abbildung 2.6-2. Diagramm Darstellungsoptionen und Definition der Variablen .	58
Abbildung 2.6-3. Tabellarische Darstellung - Spaltenauswahl und Optionen .....	59
Abbildung 2.6-4. Datenanalyse-Tool.....	60
Abbildung 3.1-1. Rollenfahrbahn in Tracker.....	62
Abbildung 3.1-2. Rollenfahrbahn Videoclip in Tracker .....	63
Abbildung 3.1-3. Diagramme Rollenfahrbahn .....	65
Abbildung 3.1-4. Rollenfahrbahn kinematische Modellierung .....	66
Abbildung 3.1-5. Kinematische Modellierung. Modellspuren (Türkis).....	66
Abbildung 3.2-1. Wasserpendel Funktionsprinzip .....	67
Abbildung 3.2-2. Wasserpendel Analyse und dynamische Modellierung in Tracker .....	68
Abbildung 3.2-3. Wasserpendel – dynamische Modellierung.....	69
Abbildung 3.3-1. Looping .....	70
Abbildung 3.3-2. Looping im Tracker.....	71
Abbildung 3.3-3. Vektorenvergrößerung .....	72
Abbildung 3.3-4. Loopingbahn. Beschleunigung (2x vergrößert) .....	72
Abbildung 3.3-5. Loopingbahn Diagramme .....	73
Abbildung 3.3-6. Dynamische Modellierung, Polarkoordinaten (Kreisbahn).....	74
Abbildung 3.3-7. Stroboskopbild. Loopingbahn .....	74
Abbildung 3.4-1. In einer Flüssigkeit sinkende Kugel .....	75
Abbildung 3.4-2. Freier Fall unter Wasser .....	76
Abbildung 3.4-3. Rakete Freier Fall. Dynamische Modellierung .....	77
Abbildung 3.4-4. Rakete Freier Fall. Diagramme .....	77
Abbildung 3.5-1. Aufsteigende Rakete unter Wasser.....	78
Abbildung 3.5-2. Aufsteigende Rakete. Diagramme.....	79
Abbildung 3.5-3. Aufsteigende Rakete. Kurvenfitt im t-y-Diagramm.....	80
Abbildung 3.6-1- Schräger Wurf unter Wasser .....	80
Abbildung 3.6-2. Diagramme: Schräger Wurf unter Wasser .....	81
Abbildung 3.6-3. Stroboskopbild: Schräger Wurf unter Wasser.....	82
Abbildung 3.7-1. Armbrustpfeil unter Wasser .....	83
Abbildung 3.7-2. Diagramme: Armbrustpfeil unter Wasser .....	83

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Mathematische Funktionen unterschützt vom OSP Parser <sup>24</sup> .....	55
---	----

## Anhang A: Inhalt der beigefügten CD

Die beigefügte CD enthält eine PDF-Datei dieser Arbeit, die Versuchsvideos sowie die aus Tracker exportierten Archive mit den Projektinfos und ausgewerteten Versuchsvideos.

Experiment	Verzeichnis
Rollenfahrbahn	Experimente\Rollenfahrbahn
Wasserspendel	Experimente\Wasserspendel
Loopingbahn	Experimente\Loopingbahn
Freier Fall unter Wasser	Experimente\Freier_Fall_Unterwasser
Aufsteigende Rakete unter Wasser	Experimente\Aufsteigende_Rakete_Unterwasser
Schräger Wurf unter Wasser	Experimente\Schraeger_Wurf_Unterwasser
Armbrustpfeil unter Wasser	Experimente\Armbrustpfeil_Unterwasser

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben.

Ganz besonders möchte mich bei Herrn Prof. Dr. Wilhelm bedanken, der mir ermöglicht hat, diese Arbeit zu verfassen und der sich stets für meine Fragen viel Zeit und Geduld genommen und mich mit wertvollen Ratschlägen unterstützt hat.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Christoph Kadeln für seine mehrmalige Unterstützung bei Videoaufnahmen im Physiklabor bedanken.

Ein besonderer Dank geht an den Rüsselsheimer Segel- und Tauchverein „SEGELTAUCHER“, insbesondere an Siegfried Krentz für die Hilfe und Unterstützung bei den Unterwasser-Experimenten.

Ein großes Dankeschön gilt meiner Familie für die enorme Unterstützung.