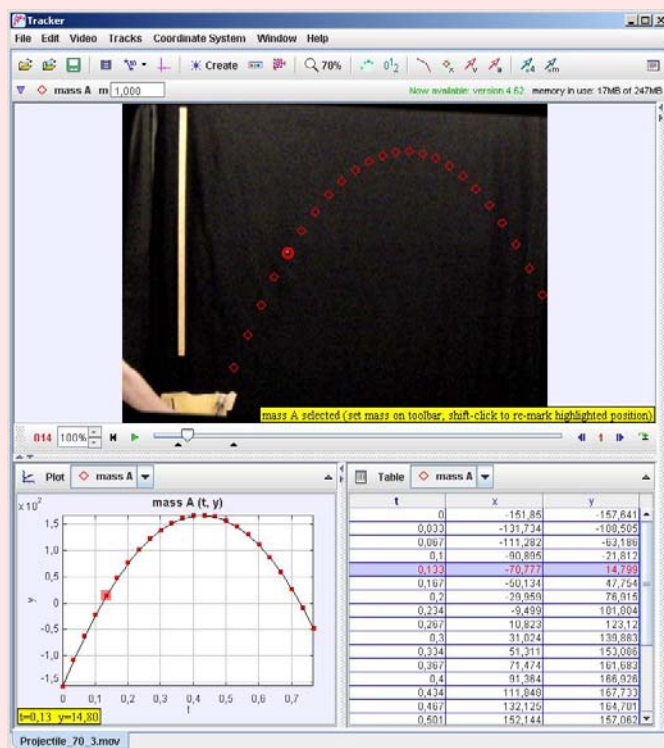


*Jonas Persson*

## VIDEOANALYS I FYSIK- UNDERVISNINGEN



## **Tidligere utgitt i SLserien**

- Nr. 1, aug. 2003: Jan Ove Rein: **Hold og stell av vandrende pinner***
- Nr. 2, okt. 2003: Rossing, Stefansson, Bungum: **Elektronikk for skolen***
- Nr. 3, nov. 2003: Rossing, Kind: **Kreativitet og skaperglede***
- Nr. 4, aug. 2004: Rossing, Fagerli, Dinesen: **Teknologi i skolen, "Bygg et hus"***
- Nr. 5, sept. 2004: Karoliussen: **Fornybare energikilder** (utgått)*
- Nr. 6, apr. 2005: Næss: **Luft og strømninger***
- Nr. 7, des. 2005: Rossing: **Fra elektriske kretser til intelligente hus***
- Nr. 8, apr. 2006: Karoliussen: **Energi for framtiden***
- Nr. 9, juli. 2006: Rossing, Kjeldstad: **Fysikkløypa ved NTNU***
- Nr.10, nov. 2006: Bungum: **Mekaniske leker: Prinsipper og ideer***
- Nr. 11, des. 2006: van Marion: **Feltarbeid i naturfag og biologi***
- Nr. 12, feb. 2007: Rossing, Fagerli: **Varmepumper og solfangere***
- Nr. 13, mai 2007: Sviland, Jensen, Moe, Borg: **Gråspurv, farskap og forskningsmetode***

# **VIDEOANALYS I FYSIKUNDERVISNINGEN**

ISBN 978-82-7923-061-8

ISSN 1503-9242

Trondheim 2012

Layout og redigering: Jonas Persson

Redaktører for SLserien: Peter van Marion  
Astrid Johansen  
Nils Kr. Rossing

Publikasjoner i skriftserien kan kjøpes  
ved henvendelse til:

**Skolelaboratoriet for matematikk,  
naturfag og teknologi, NTNU**

Realfagbygget

Høgskoleringen 5

7491 Trondheim

e-post: [ellen.duister@plu.ntnu.no](mailto:ellen.duister@plu.ntnu.no)

Telefon: 73 55 11 43

Telefaks: 73 55 11 40

<http://www.ntnu.no/skolelab/>

Faglige spørsmål rettes til:

**Institutt for fysikk, NTNU**

**v/Jonas Persson**

Realfagbygget, Høgskoleringen 5

7491 Trondheim

Telefon: 73 59 33 39

<http://www.ntnu.no/fysikk/>

Rev 2.0 – 27.05.2013

# Videoanalys i fysikundervisningen

Jonas Persson



## **Forord fra redaktørene**

Det er en stadig økende interesse for å ta i bruk mer utforskende arbeidsmåter i undervisningen i fysikk og naturfagene forøvrig. Internasjonal forskning peker på en tydelig positiv trend i favør av undervisning hvor utforskende arbeidsmåter har en sentral plass, spesielt der elever arbeider med utgangspunkt i autentiske data, enten de er samlet inn av andre eller av dem selv.

Heftet om videoanalyse i fysikkundervisning, som foreligger her, handler om hvordan man kan gjøre videoopptak av bevegelser, og hvordan data som samles inn med video kan gis abstrakte representasjonsformer og analyseres på ulike måter. Ved hjelp av videoanalyse kan elevene gjøre opptak av gjenstander i bevegelse eller fenomener, for deretter å analysere og finne matematiske modeller for bevegelsen. På denne måten kan gapet mellom det virkelige fenomenet og den abstrakte matematiske representasjonen gjøres mindre.

Videoanalyse kan gi interessante muligheter for mer utforskende tilnærminger i fysikkundervisningen. Heftet beskriver dessuten en rekke gode eksempler på utforskende aktiviteter som kan gjennomføres ved hjelp av videoanalyse, både i og utenfor klasserommet.

Trondheim, 01.08.2012

Peter van Marion

Astrid Johansen

Nils Kr. Rossing





## Forord fra forfatteren

Videoanalys och dess nytta i fysikundervisning är väl etablerad. Dagens elever är väl förtroliga med videoformatet och har idag möjlighet att själva producera video med hög kvalitet. I en video finns det förutom en stor mängd information om rummet även tidsinformation, något som utnyttjas inom fysiken. Men vi har även en möjlighet att få en direkt koppling mellan direkta observationer och en mer abstrakt representation av fysiska fenomen. Man kan överföra data från bilderna till numeriska värden i tabeller eller grafer, genom att spåra positionerna och följadom över tid. Man kan även gå den andra vägen och överföra data från modeller till positioner i videon och jämföra med verkligheten genom grafiska ”overlays”. Vi får en övergång mellan olika representationsformer vilket underlättar inläringen.

Möjligheten att kombinera videoanalys och modellering ger möjligheten att se de begränsningar som råder med de förenklade modeller som vi har i fysikböcker och genom förfina modellerna visa att det är möjligt att förklara vardagesfenomen som oftast behandlas på ett ofullständigt sätt i fysikböcker.

Denna handbok är ett försök att visa möjligheterna med videoanalys och modellering i kombination i fysikundervisningen. Tracker är ett program som uppdateras ofta, varför beskrivningen i handboken kan skilja sig lite från den senaste versionen.

Tracker finns nedladdningsbar från: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>  
Jag har dessutom skapat en norsk (svensk) sida där man hittar mer information och instruktionsvideos: <http://www.nt.ntnu.no/users/jonaspe/tracker/Tracker.htm>  
I tillägg finns det ett videobibliotek, <http://www.nt.ntnu.no/users/jonaspe/tracker/Videobibliotek.htm>, som är öppet för gratis nedlastning av experiment videos. Dessa videos är även tillgängliga direkt i Tracker via Digital Library Browser.

Jonas Persson  
Augusti 2012

## **Förord till revision 2.0**

När det gäller programvara sker ofta ganska stora förändringar under en kort tidsperiod. När det gäller Tracker så har programmet genomgått vissa förändringar som gör att den förra upplagan av detta häfte har blivit lite utdaterat. För att komma till rätta med detta har jag anpassat text och bilder till den senaste versionen 4.80 (i maj 2013). Den viktigaste förändringen som skett gäller tillgängligheten av videor där den inbyggda Library Browser gör det enklare att hämta videor från andra källor, samtidigt som man har lättare att hålla reda på sina egna videor.

Jonas Persson  
Mai 2013

# Innhold

Forord fra redaktørene.....	7
Forord fra forfatteren.....	9
Innhold .....	11
<b>1 Inledning.....</b>	<b>13</b>
<b>2 Video.....</b>	<b>14</b>
2.1    Uppløsning .....	14
2.2    Inspelningshastighet .....	15
2.3    Exponeringstiden.....	15
2.4    Val av kamera.....	16
2.5    Tillbehør .....	17
2.6    Inspeling av video.....	17
<b>3 Videoanalys.....</b>	<b>18</b>
3.1    Tracker .....	19
3.2    Snabbguide till Tracker .....	20
3.3    Anvånda Tracker .....	25
3.3.1    Menyer .....	26
3.3.2    Verktøysraden .....	31
3.4    Video .....	32
3.4.1    Öppna video .....	32
3.4.2    Videoklipp.....	34
3.4.3    Clip inspector .....	35
3.4.4    Uppspelning av video.....	36
3.4.5    Video Filter.....	37
3.4.6    Export av video .....	38
3.5    Koordinatsystem och kalibrering.....	41
3.5.1    Coordinate system meny .....	41
3.5.2    Axlår.....	43
3.5.3    Långdkalibrering .....	44
3.6    Tracks .....	45
3.6.1    Skapa ett track .....	46
3.6.2    Markering av Track .....	46
3.6.3    Track Kontroll .....	47
3.7.1    Anvånda Autotracker.....	49
3.7.2    Søkrøultat .....	51
3.8    Presentation av data.....	55
3.9    Gråffønstret .....	57
3.10    Tabell fønstret.....	60
3.10.1    Data Builder .....	63
3.11    Analysera data (DataTool) .....	66
<b>4 Exempel.....</b>	<b>69</b>

<b>5</b>	<b>Videomodellering</b> .....	<b>71</b>
5.1	Kast med boll.....	71
5.2	Luftmotstånd .....	75
<b>6</b>	<b>Gravitasjonskonstanten på månen</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>Solfläckar – Solens Rotation</b> .....	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Coefficient of restitution</b> .....	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>Kollisioner</b> .....	<b>91</b>

## 1 Inledning

Utvecklingen av kamerateknologi de sista åren har gjort att många idag har tillgång till en kamera där det är möjligt att ta upp en video, detta gäller även mobiltelefoner och webbkameror. Samtidigt har det skett en utveckling av videoanalys, där det i dag finns program som gör det möjligt att analysera rörelsen i en video. Då kameror är billiga kan man utan större kostnad skaffa sig en experiment uppställning för att analysera rörelser.

Genom att använda videoanalys får man en möjlighet att se experimentet och de grafer som man erhåller samtidigt, men man kan även relatera mätpunkterna till en position på videon. Detta liknar de animationer som man får i simuleringar, men här är det en bild av verkligheten och inte en skapad animation. Det är också möjligt att frigöra sig från labsalen, på samma sätt som med portabla dataloggers, genom att man enbart behöver ha med sig en kamera.

Det finns idag ett antal olika videoanalys program för olika applikationer. När det gäller undervisning finns bland annat Verniers Logger Pro 3, VideoPoint, DataPoint och Tracker. Datapoint och Tracker är gratis program. Jag har här valt att använda Tracker som är ett relativt enkelt program att använda och som kan lastas ned utan kostnad, i tillägg finns bra dokumentation och ett antal artikler som beskriver experiment som analyserats med Tracker.

Jag kommer här att gå igenom hela proceduren från inspelning av video till analys och modellering med Tracker, samt ge ett antal exempel på experiment.

## 2 Video

Studenter och elever idag har mobiltelefoner med möjlighet att spela in filmer. Många har dessutom själva redigerat och lagt ut egna filer på ex. YouTube. Detta gör att dom har en vana att arbeta med videofilmer. Det är idag möjligt att spela in filmer med enkla hjälpmedel, mobiltelefoner har möjlighet att spela in video med relativt bra kvalitet, web-kameror, standard kameror och videokameror har i stort sett alla tillgång till. Det finns dock en del aspekter som man måste ta hänsyn till att få video med tillräckligt hög kvalitet för att kunna analysera innehållet. Detta gäller *upplösningen* (bildstorleken), *inspelningshastigheten* (bilder per sekund, fps) och *exponeringstiden*.

### 2.1 Upplösning

Upplösningen för en bild från en digitalkamera, är begränsad av sensorn som omvandlar ljus till elektriska signaler (mäter ljusstyrkan), som behandlas och sparas i ett minne. Sensorn består av ett antal pixlar som i princip räknar antal fotoner som träffar sensorn. Antalet pixlar i bildens bredd och höjd bestämmer bildens pixelantal. Till exempel en bild med 640 x 480 pixlar innehåller 307 200 pixlar, en bild med 3872 x 2592 pixlar har 10 036 224 pixlar. Antalet pixlar antas allmänt ange bildupplösningen hos en kamera, men det är en missuppfattning. Det finns flera andra faktorer som påverkar en sensors upplösning. Några av dessa faktorer är storleken på sensorn, objektivets kvalitet och hur pixlarna är organiserade. Många digitala kompaktkameror har kritiserats för att ha onödigt många pixlar, i och med att pixlarna (bildpunkterna) kan vara så små att en sensors upplösning är större än vad objektivet kan leverera.

På samma sätt som digitalkameror har en upplösning, har även videokameror och video det samma. Här använder man sig av specifika format, oftast de samma som finns för olika dataskärmar. Så som VGA 640 × 480, SVGA 800 × 600, XGA 1024 × 768, QVGA 1280 × 960 och så vidare.

Ju bättre upplösning desto större videofiler. Men det är inte säkert att man behöver den högsta upplösningen, det räcker med att man kan se objekten tydligt i filmen för att kunna göra en analys. En del av detta kan man justera genom att använda zoom-funktionen. Detta gör att nästan alla digitala kameror kan användas när det gäller upplösningen.

## 2.2 Inspelningshastighet

Inspelningshastigheten, anger hur många bilder som visas per sekund, och anges som frames per second, fps. Här finns det ett antal olika standard format, vanlig TV använder 25 fps, filmer i biografer 24 fps. Webkameror använder dock 30 eller 15 fps, beroende på bildformatet. SlowMotion kallas inspelning med mer än 3 gånger normal inspelningshastighet.

När man exempelvis skall studera en rörelse så kommer in- och avspelningshastigheten att spela en stor roll. Om vi antar att vi har en inspelningshastighet på 30 fps, så är det 0.033 sekunder mellan varje bildruta. Har vi då ett föremål som rör sig med 10 m/s så kommer det att flytta sig 33 cm mellan varje bildruta. Här kan vi då få ett problem med att få med allt som är intressant i tillräckligt många bildrutor, för att kunna analysera förloppet. Detta gör att man inte kan filma mycket snabba förlopp med normal inspelningshastighet utan måste ha en högre inspelningshastighet. Detta låter seg dock inte göras med majoriteten av digitala kameror.

## 2.3 Exponeringstiden

Det är nu inte bara inspelningshastigheten som är en begränsande faktor utan även exponeringstiden. Det vill säga hur länge ljus till en bild samlas in. Detta är ett välkänt problem inom vanlig fotografering där man anpassar exponeringstiden (och filmen) till det man skall fotografera. Här talar vi om exponeringstider på ner till 1/1000 sekund.

Detta är något som digitala kameror i dag sköter automatiskt. Men man har möjlighet att överstyra och själv kontrollera detta. I praktiken betyder det att man lämnar Auto och går till P(rogram) mode i kameran, vilket gör det möjligt att själv ställa in olika inställningar. Detta gäller vanligen exponeringstid, bländare och ISO (ljuskänslighet). Det finns dock för en del kameror möjligheten att låsa en av parametrarna (ex. exponeringstid) och låta kameran sköta resten. För vårt ändamål är låsning av exponeringstiden det enda som behövs. Men den som vill prova på att variera alla inställningar själv bör prova <http://camerasim.com/camera-simulator/>. Detta är en interaktiv simulering av en digital kamera där du kan ändra det mesta och se resultatet med kommentarer.

Om vi använder exemplet med ett objekt som rör sig med 10 m/s, är 10 cm långt, och har en exponeringstid på 1/60 sekund. Under exponeringen kommer då objektet att hinna röra sig ca 16 cm. Detta ger upphov till en rörelseoskärpa som gör att objektet ser ut att vara ca 26 cm långt. Vilket inte gör en noggrann analys

möjligt. I detta fall behövs en exponeringstid på under 1/500 sekund. Detta är inga problem för en modern kamera, men det gör att man måste ha en bra belysning av objektet. Det går att öka ljuskänsligheten (ISO) men följderna av detta blir att bildupplösningen minskar genom att bilden blir mer ”grynig”. Detta är en form av elektronisk förstärkning av bilden som gör att brus (støyet) ökar. Jämför bilder som du tar under dåliga ljusförhållanden.

## 2.4 Val av kamera

Man kan från detta få intrycket av att det inte är möjligt att själv spela in lämpliga videor. Så är absolut inte fallet. Det räcker faktiskt med en standard webbkamera, speciellt om man själv kan ställa in exponeringstiden vilket är fallet med alla kameror idag, beroende på vilken drivare man har. Dessutom har man den möjligheten att använda speciella videoprogram där det är lättare att stryra exponeringen. Här bör man dock vara observant på att inspelningshastigheten kan minska om man har för stort bildformat.

Vill man använda vanliga digital- eller videokameror är det inga problem. Här får man dock överföra video till datorn. Se bara till att kameran kan ställas in på en kort exponeringstid. Då i princip alla digitalkameror idag kan spela in korta video är dessa fullt tillräckliga.

Är man ute efter att öka inspelningshastigheten så stiger kostnaderna betydligt med priser på över 10000 € för ett ganska avancerat system. Men det finns ett billigare alternativ, men med reducerad upplösning (ca 300 x 100 pixel vid 1000 fps) och kortare filmer, på runt 300 €, priset beror på modell och land. Här är det Casio Exilim F serie och Samsung WB2000 de alternativ som jag hittat. Dessa finns i välsorterade fotobutiker, var dock observant på att du får tag på rätt kamera. Detta gäller speciellt om man är ute efter en kamera för höghastighetsinspelning.



## 2.5 Tillbehör

Även om det räcker med en kamera så är det lämpligt att skaffa sig lämpliga tillbehör. Ett stabilt stativ där kameran kan monteras är ett viktigt hjälpmedel. Då man ofta vill använda sig av korta exponeringstider, behöver man bra belysning. Här är vanliga byggstrålkastare vanligen ett billigare alternativ till fotolampor.

## 2.6 Inspelning av video

Att spela in en video är inte svårt, men det som kan vara besvärligt är att kvaliteten på videon inte är tillräcklig för att en analys kan göras. Det är viktigt att man kan kontrollera om videon är användbar innan man spelar in många. Använder man en webbkamera går detta snabbt, i andra fall måste videon överföras till datorn. Det är viktigt att man har så mycket ljus som möjligt. Det är bättre med för mycket än för lite. Man bör också ha med en linjal eller något annat i bilden som man känner längden på. Detta för att man skall ha en möjlighet till att få en kalibrerad längdskala. Se kapitlet om koordinatsystem och kalibrering.

### 3 Videoanalys

Det finns ett antal videoanalys program idag, så som Verniers Logger Pro 3, VideoPoint, DataPoint och Tracker. Logger Pro3 och VideoPoint är kommersiella program, med allt det betyder i form av support. DataPoint och Tracker är Open Source och kan lastas ner utan kostnad. Tracker har den fördelen att den stöds av Open Source Physics (OSP) [<http://www.opensourcephysics.org>] som stöds av NSF (National Science Foundation) i USA.

Jag har valt att arbeta med Tracker och kommer att presentera hur man kan använda det programmet för att genomföra experiment i fysikundervisningen.

### 3.1 Tracker

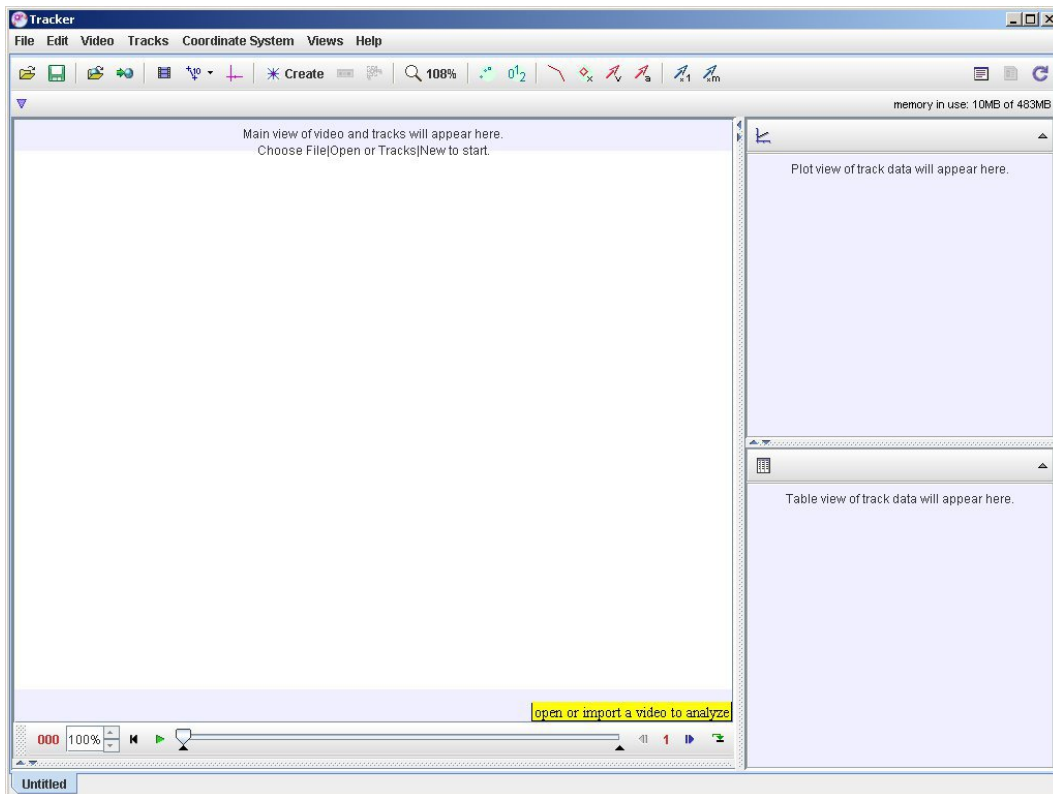
Tracker är skriven i Java av Douglas Brown. Att programmet använder Java gör det möjligt att köra det på alla plattformar, Windows, Mac och Linux. För att programmet skall fungera måste man ha Java 1.5 eller senare. Programmet använder sig av en extern video spelare, QuickTime eller Xuggle. Man behöver egentligen bara en av dom och de flesta datorer har redan QuickTime installerat. Xuggle har dock möjligheten att spela upp fler videoformat och bör installeras. Detta gör att man kan använda de flesta videoformat (mov/avi/flv/mp4/wmv etc). Tracker kan lastas ned från <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/> där det bästa är att välja en Installer som kan installera Tracker och Xuggle samtidigt. Man kan även lasta ned .jar filen, men då måste man installera videospelarna separat.

Tracker startas genom att dubbelklicka på tracker.jar eller via startmenyn. När man har startat Tracker så följer användandet och analysen vissa steg:

1. Öppna eller importera en video-fil, genomgång av videoegenskaperna och eventuella filter om detta behövs.
2. Definition av koordinatsystemet i videon, Kalibrering av längdskalan i videon genom en känd längd i videon.
3. Markering av objekt i videon som skall analyseras. Detta kan ske manuellt eller genom en automatisk funktion (autotracker).
4. Data för markerade objekt kan studeras i tabell eller graf-format. Dessa data kan exporteras till andra program eller analyseras med en inbyggd funktion.
5. Data kan sparas för senare analys.
6. Eventuellt kan en modell byggas i programmet för jämförelser med experimentella data.

## 3.2 Snabbguide till Tracker


Här följer en snabbguide till hur man använder Tracker, för mer information se senare kapitel. Det finns i tillägg instruktionsvideos på: <http://www.plu.ntnu.no/skolelab/fysikk-animasjoner/Tracker/> som visar hur man använder Tracker.



Figur 1 Start bild i Tracker

När du startar Tracker får du upp ett fönster som i figur 1. Notera speciellt verktygsfältet, där knapparna följer gången i en analys av en video.

1. Öppna en video.

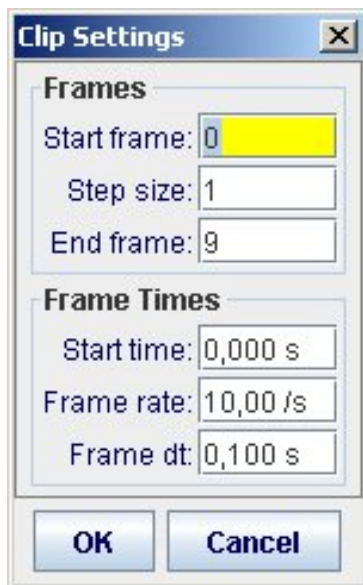
Klicka på  i verktygsfältet eller via file menyn och välj en video på din dator. Spela av videon för att se om det är rätt video. Man kan här använda sig av

Library Browser genom att klicka på  . Här kan man då hämta videor eller projekt som andra gjort tillgängliga på webben.

2. Val av bildrutor i videon som skall analyseras.

Alla bildrutor i videon är inte intressanta och man bör välja ut de som är


intressanta. Klicka på  för att se inställningarna i videon i **Clip inspector** ( se 3.4.2).



Figur 2 Clip inspector

Här markerar du vilken bildruta som är den första och sista i avsnittet du skall analysera. Har man många bildrutor kan man välja att markera varannan bildruta genom att sätta Step size till 2. Observera att här sätts tidsskalan, den som visas är den bildhastighet som finns i informationen i videofilen.


3. Kalibrering av längdskalan.

Klicka på  och välj calibration stick.




Dra ändarna till ett objekt i videon som du känner längden på, till exempel en meterstav. Om längden på objektet inte är 100 cm, klicka på siffrorna och ändra till rätt längd. Observera att du måste hålla reda på enheten själv.

#### 4. Val av referenssystem och origo.

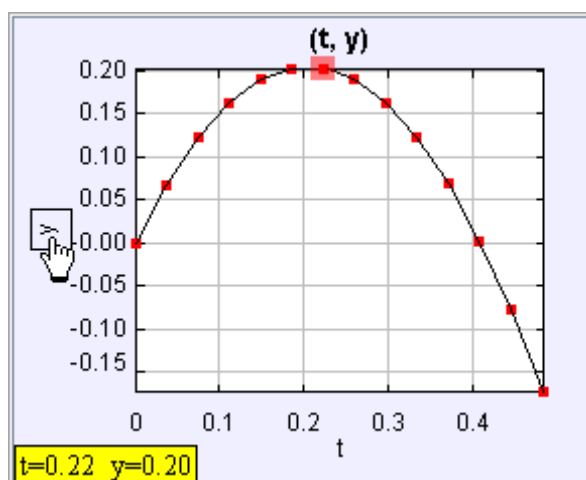
Klicka på  för att visa koordinataxlarna. Flytta origo genom att klicka och dra på den. Vinkel ändras genom att klicka och dra på x-axeln.

#### 5. Markera objekt.

Skapa ett Track (spår) genom att klicka på Create knappen  **Create** och välj vilken typ av spår du vill skapa. Vanligen används PointMass för objekt (se kap 3.6). Här kan man även skapa ett track från en matematisk modell (se kap. 5). För att skapa ett Track måste man markera objektet i alla bildrutorna. Detta gör man genom att hålla ner skift (ger en crosshair cursor) och vänster-klicka med musen. Tracker stegar automatiskt fram videon med ett steg. Alternativt kan man använda sig av **Autotracker** (se kap. 3.7). Positionen som man valt kan ändras i efterhand genom att klicka och dra med musen.

#### 7. Behandling av data.

Samtidigt som man markerar Tracks kommer data att visas i tabell- och graffönstren. Genom att klicka på variabeln kan man välja vilken variabel som skall visas (se kap. 3.9).



Figur 3 Graffönster

Genom att höger-klicka i grafen får man upp en pop-up meny med användbara funktioner.

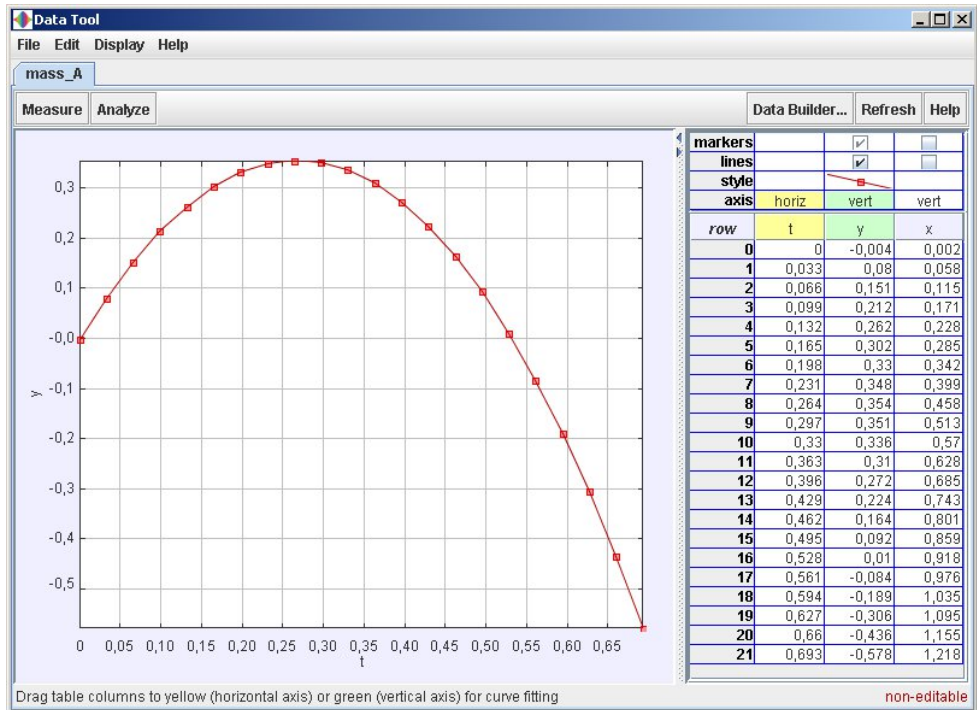


Figur 4 Pop-up menyn för graffönstret

De mest användbara här är:

**Define** som startar **Data Builder** (se kap. 3.10.1), där du själv kan definiera nya variabler för graf och tabeller.

**Analyze** som startar **Data Tool** (se kap 3.11) där det är möjligt att analysera data med kurvanpassning , statistik och annat.



Figur 5 Data Tool fönstret

## 8. Spara och exportera data.

Data som man fått fram kan sparas som en tracker fil (.trk) genom att klicka på



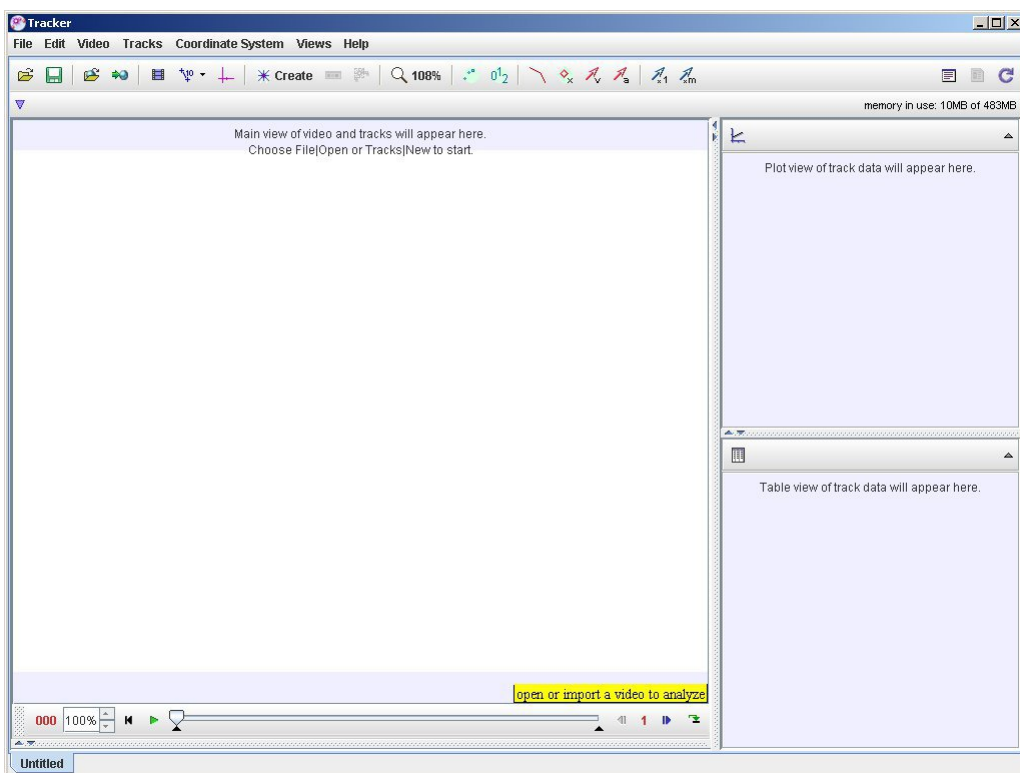
eller genom fil-menyn. Dessa filer kan öppnas och innehåller all information som behövs för att fortsätta att arbeta med analysen.

Data kan också exporteras till ett spreadsheet program genom att markera data i tabellfönstret, höger-klicka och välja **Copy Data** från pop-up-menyn. Data limmas in på vanligt sätt.



### 3.3 Använda Tracker

När man startat Tracker kommer man att se ett fönster motsvarande Figur 6. Där vi hittar de olika komponenterna som kommer att användas. Vi har ett antal menyer där de flesta av kommandona som används finns. Vi har en Toolbar med de vanligaste funktionerna som används under en session. Ett Videofönster, där video kommer att visas. Under video-fönstret finns kontrollerna för den samma. Till höger (i figur 6) har vi andra fönster som kan visa grafer och tabeller. Hjälptext är default och visas som en gul textrad.



Figur 6 Start bild i Tracker

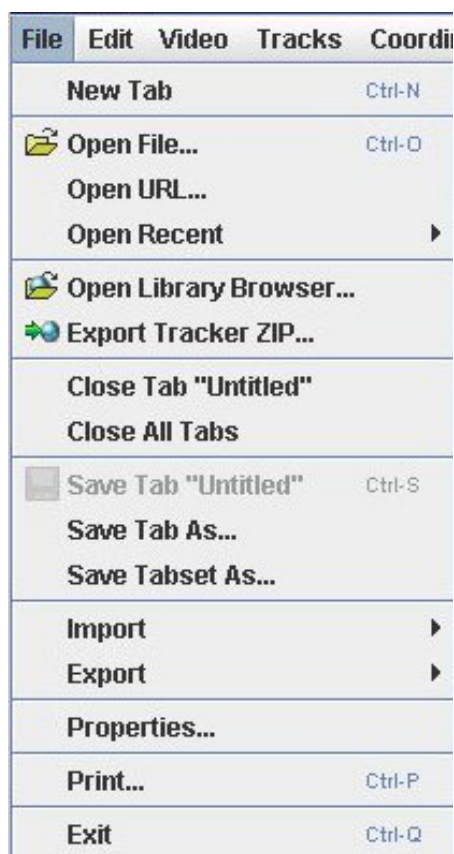
Man får även information om det finns en nyare version och hur mycket minne som programmet använder under Toolbar.

### 3.3.1 Meny

De olika menyerna innehåller kommandon som är användbara, här presenteras en kort genomgång av dessa:

#### *File:*

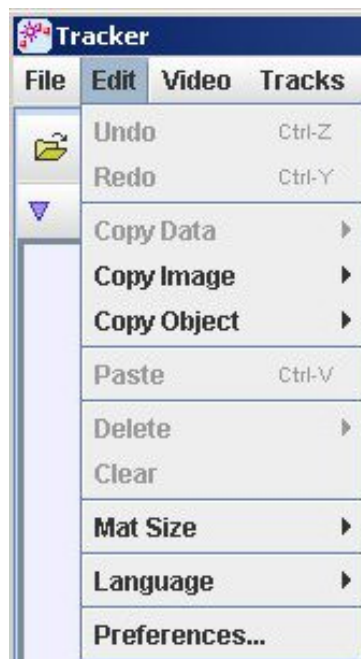
- **New Tab** öppnar en ny session.
- **Open File..** öppnar en video eller tracker (.trk xml-format) fil.
- **Open URL..** öppnar en video eller tracker (.trk xml-format) fil över webben.
- **Open Recent** öppnar senast använda filer.
- **Open Library Browser...**
- **Export Tracker ZIP...** möjlighet att spara videon som ett projekt.
- **Close Tab "namn"** stäng session "namn".
- **Close All Tabs** stänger alla sessioner.
- **Save Tab..** sparar session..
- **Import** importerar video eller element från tracker fil till den aktuella sessionen.
- **Export** exporterar video eller tracker fil i den aktuella sessionen.
- **Properties..** Visar egenskaperna för sessionen (Tab) i xml-format.
- **Print...** Skriver ut Tracker fönstret.
- **Exit** avslutar programmet.



Figur 7 File meny

*Edit:*

- **Undo** ångra
- **Redo** gör om.
- **Copy Data** kopierar data till klippboken.
- **Copy Image** kopierar fönster (väljs) till klippboken.
- **Copy Object** kopierar koordinatsystem eller video.
- **Paste**
- **Delete**
- **Clear**
- **Mat Size** ändrar storleken på video-fönstret. OBS zoomar inte!
- **Language** val av språk.
- **Preferences...** inställningar som kan ändras för att göra det lättare att använda programmet, genom att ta bort vissa finesser.



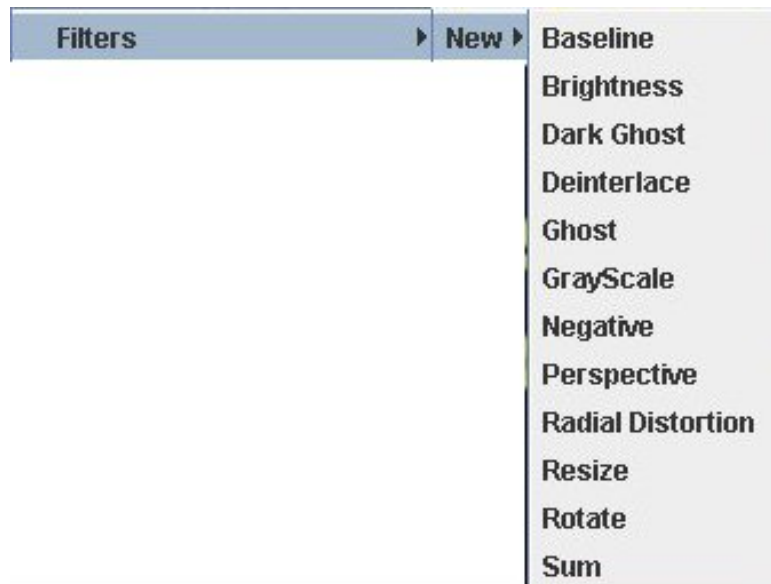
Figur 8 Edit meny

*Video:*

- **Replace**
- **Close**
- **Paste Image** limmar in en bild från klippboken.
- **Visible** visar videon om markerad (default).
- **Play All Steps** markerad spelas alla bildrutor. Detta bör dock **Clip Inspector** användas till.
- **Smooth Play (may be slow)** spelar upp videon mjukt om markerad, i annat fall kan uppspelningen bli hackig.
- **Filters** aktiverar olika filter för extra bildbehandling. Se nedan.
- **Frame Durations..** visar tidsavståndet mellan varje bildruta och om den är densamma i hela videon
- **Properties** visar videons egenskaper



**Figur 9 Video meny**



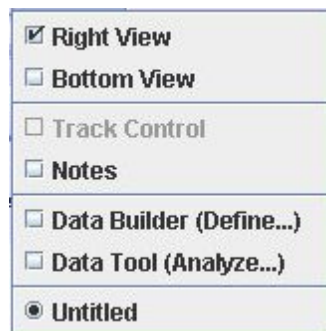
Figur 10 Filters meny

- **Filters** (se även 3.4.4)
  - **Baseline** subtraherar en bakgrundbild från alla bildrutor.
  - **Brightness** ändrar ljusstyrka och kontrast
  - **Dark Ghost** lämnar mörka spökbilder av ett objekt.
  - **Deinterlace** ger möjlighet att välja udda eller jämna fält i en interlaced video bild.
  - **Ghost** lämnar ljusa spökbilder av ett objekt.
  - **Grayscale** visar svart-vit bild.
  - **Negative** visar negativ bild.
  - **Perspective** används för att korrigera distorsioner som uppstår när man filmar ett objekt från en viss vinkel istället för rakt mot.
  - **Radial Distortion** används för att korrigera när man använder Fish-Eye eller vid-vinkel till kameran.
  - **Resize**
  - **Rotate** roterar videon.
  - **Sum** summerar bildrutor eller tar ett medelvärde.

**Tracks** och **Coordinate System** behandlas separat i speciella kapitel.

### View:

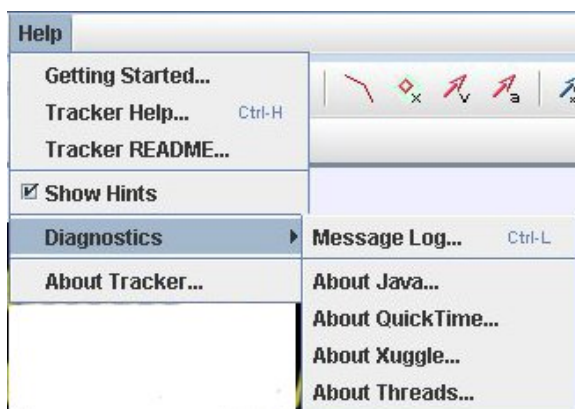
- **Right View** lägger tabell/graf fönster till höger om videofönstret.
- **Bottom View** lägger tabell/graf fönster under videofönstret.
- **Track Control** visar kontrollfönstret för **Track**, se kapitel om Track.
- **Notes** visar anteckningar
- **Data Builder (Define...)** visar **Data Builder** fönstret, se separat kapitel om modeller.
- **Data Tool (Analyze...)** visar **Data Tool** fönstret ett enkelt analysprogram, se separat kapitel.



Figur 11 Window meny

### Help:

- **Getting Started...** öppnar Tracker hjälp fönster på Getting started.
- **Tracker Help...** öppnar Tracker hjälp fönster.
- **Tracker README...** öppnar Tracker informatiopns fil.
- **Show Hints** markerad visas tips.
- **Diagnostics**
  - **Message Log...** Visar loggen för meddelanden från Java-motorn.
  - **About Java...** Visar information om version och liknande.
  - **About QuickTime...** Visar information om version och liknande.
  - **About Xuggle...** Visar information om version och liknande.
  - **About Threads...** Visar information om threads som körs.
- **About Tracker...** Visar information om version och liknande.



Figur 12 Help meny

### 3.3.2 Verktygsraden



Figur 13 Verktygsraden i Tracker

Verktygsraden i Tracker innehåller de vanligaste kommandona som man behöver för att analysera en video. I tillägg är dom placerade så att kommandona från vänster till höger ligger i den ordning som man använder vid analysen. Det vill säga genom att gå från vänster till höger så går man igenom alla steg i en normal analys. Dessa knappar är från vänster till höger:

- **Open** öppnar en video eller tracker fil i en ny session.
- **Save** sparar den aktuella sessionen som en tracker fil.
- **Open Library Browser** öppnar The OSP Digital Library Browser för webbaserade videos och tracker filer.
- **Export a Tracket ZIP File** sparar videon som en Tracker ZIP fil.
- **Clip Settings** visar eller döljer **Clip Inspector**.
- **Calibration** visar eller döljer kalibreringsverktyg.
- **Axes** visar eller döljer koordinat axlarna.
- **Create** skapar en ny **Track**.
- **Track Control** visar eller döljer kontrollpanelen för **Track**.
- **Zoom** aktiverar zoom
- **Trails** anger längden på spåret av **Track**.
- **Labels** visar eller döljer etiketter på spåren.
- **Path** visar eller döljer spåren.
- **Position** visar eller döljer alla punktmass positioner.
- **Velocities** visar eller döljer alla punktmass hastighetsvektorer.
- **Accelerations** visar eller döljer alla punktmass accelerationssvektorer.
- **Stretch** ökar längden på vektorerna.
- **Dynamics** multiplicerar alla rörelse vektorer med massan, visar rörelsemomentet.

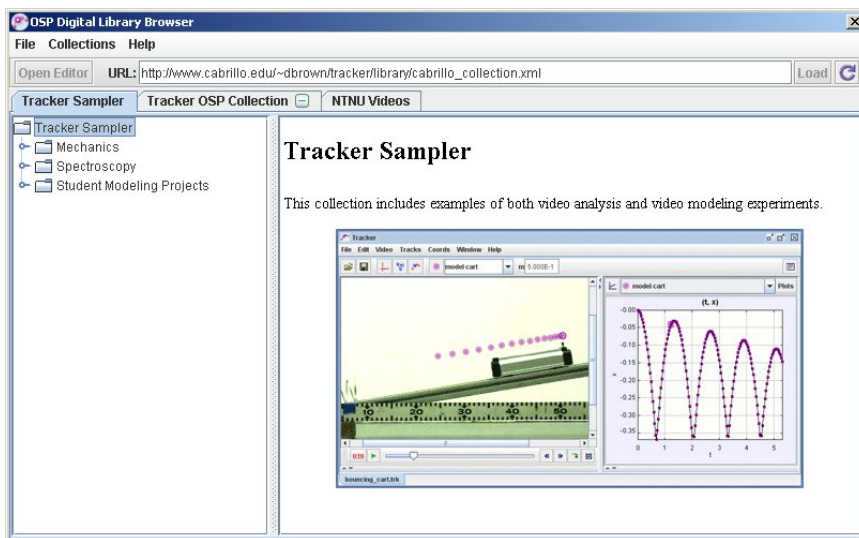
## 3.4 Video

Tracker kan öppna ett antal olika typer av video filer. Men det är även möjligt att arbeta med enstaka bilder eller bildsekvenser (.jpg, .png eller limmade in från klippbordet). I tillägg kan även animated gif öppnas. Tracker är inte i sig själv en video-spelare utan använder en extern video-spelare. Tracker använder två olika video-spelare: QuickTime och Xuggle. Xuggle kan installeras samtidigt som Tracker med Tracker Installer från websidan, medan Quicktime intalleras separat. Xuggle är default programmet och den video-spelare som kan öppna flest video format (.mov, .avi, .mp4, .flv, .wmv etc.). Quicktime kan öppna ett begränsat antal format (enbart .mov, .avi och .mp4). Observera att det inte är lämpligt att använda sig av video från YouTube utan det är bättre att använda sig av original video.

### 3.4.1 Öppna video

Det finns ett antal sätt att öppna en video. Man kan öppna på vanligt sätt genom **Open File..**, där man öppnar en fil lagrad på datorn. Man kan även öppna en fil som finns lagrad på internet via **Open URL...**, här måste man då ha tillgång till den exakta adressen.

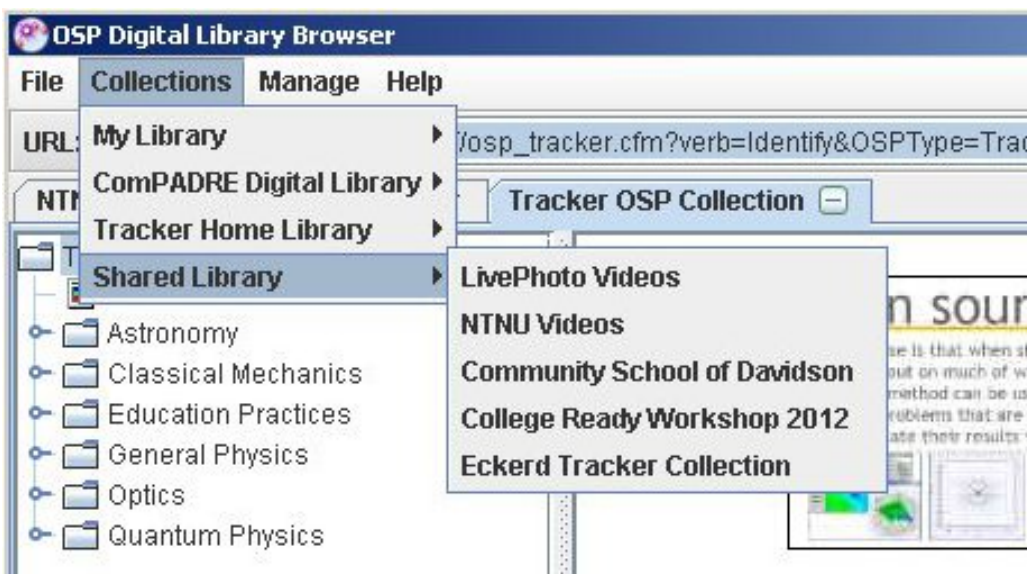
Ett alternativ är att utnyttja dom bibliotek med video som finns kopplat till OSP eller till Tracker via OSP Digital Library Browser. Välj **Open Library Browser...**, det kommer nu upp ett fönster som i figur 14.



Figur 14 Library Browser

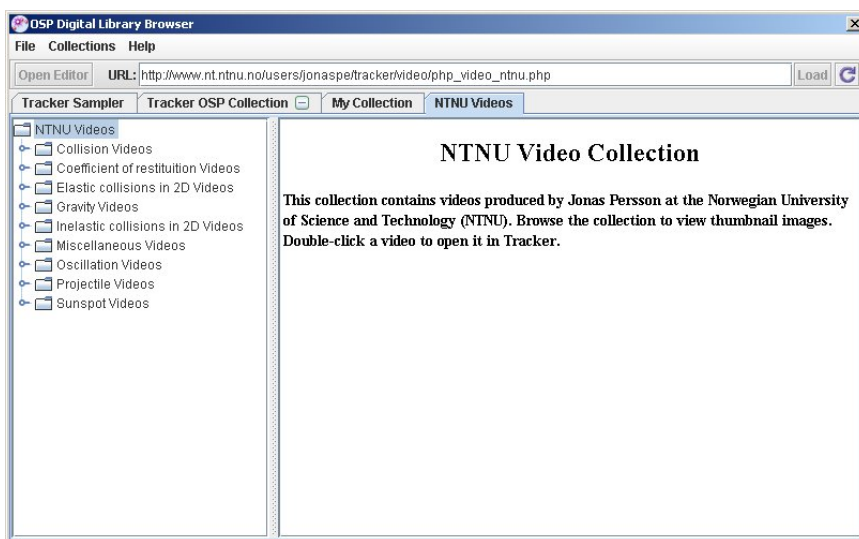


Vi ser här de video som följde med Tracker vid installationen som den första filen. Den andra filen som visas är de video som finns på OSP websidorna. Dessutom finns möjlighet att skapa en egen Collection med egna videor. Det finns dock inbyggda i programmet att antal delade samlingar, som är tillgängliga utan kostnad. För att välja ut någon/några där gå via menyn **Collections/Shared Library/** (Figur 15) där du då kan välja ut en av dessa som då visas i fönstret.



**Figur 15 Library Browser, delade samlingar**

Figur 16 visar samlingen från NTNU, som kan öppnas och sparas på egen dator. Om man använder Tracker mycket kan det vara en god ide att skapa in egen samling, vilket gör det lättare att hålla reda på de videor man har. Observera att man kan lägga till Tracker (.trk) filer, med en färdig analys, i sin samling vilket gör det lättare att presentera program och resultat i en undervisningssituation.



Figur 16 Library Browser, NTNU samlingen

### 3.4.2 Videoklipp

Ett videoklipp definierar ett set av bildrutor separerade av lika stora steg i videon med hjälp av tre parametrar:

- **start frame**
- **step size** (antal bildrutor per steg)
- **end frame**

**Start frame** är den första bildrutan som skall analyseras, det vill säga den första bildruta som innehåller relevant information. Detta behöver inte vara bildruta 1 i videon. **Step size** behöver heller inte vara ett utan man kan välja att använda ett annat värde. **End Frame** definierar den sista bildrutan i video clip, som inte behöver vara den sista bildrutan i videon. Till exempel kommer en step size på 2 i en video med start frame 3 och end frame 13 göra ge ett videoklipp som består av video bildrutorna 3,5,7,9,11 och 13, men ha numren 1,2,3,4,5 och 6 i videoklipp. **Step size** är ett bra sätt att begränsa antalet bildrutor som skall analyseras om man har en lång video. I tracker så kommer det alltid att behöva definieras ett klipp, detta sker dock automatiskt för noll-video och enstaka bilder.

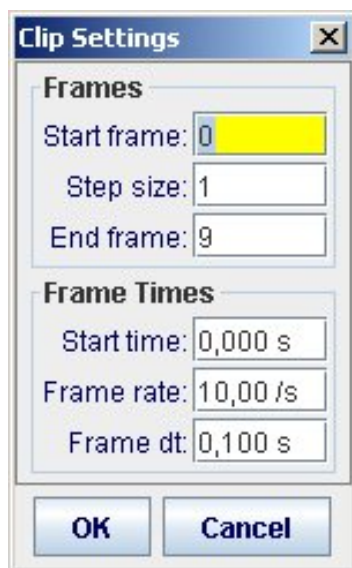
Egenskaperna för ett videoklipp kan bestämmas i video player eller hellre i **Clip Inspector**.

Notera att man bör sätta clip egenskaperna innan man analyserar videon. Ändrar man egenskaperna efter markering kan man förlora data.

### 3.4.3 *Clip inspector*

För att visa **Clip inspector**, klicka på **Clip Settings** knappen  i verktygsraden (fjärde knappen).

**Clip inspector** visar de inställningar som det aktuella video-klippet har. Här är det även möjligt att bestämma vilken bildruta i videon som skall vara den första i video-klippet (Start frame) och vilken start tid som sätts för denna (start time). Här kan man dessutom ange steglängden, dvs om man vill hoppa över bildrutor från videon till video-klippet. Här anger man även vilken bildruta som skall vara den sista i video-klippet. Här skall man tänka på att objektet som skall analyseras bör finnas i alla bildrutorna i video-klippet.

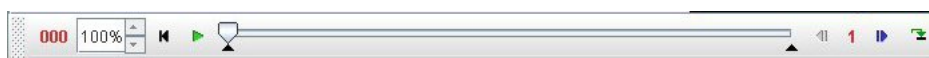


Figur 17 Clip Inspector

Här skall man också ställa in den bildhastighet (**frame rate**) som man har. Det normala är 30 /s, men om man har spelat in en video med högre hastighet måste detta ändras här. Detta för att den informationen inte finns i videon. Med detta får man då även tiden mellan bildrutorna.

### 3.4.4 Uppspelning av video

Uppspelningen sker av videoklippet och enbart det. Detta gör att du inte ser hela videon längre utan bara de delar du valt ut med **clip inspector**, det är dock möjligt att alltid gå tillbaka och ändra detta. Videospelaren kontrolleras av ett verktygsfält under.



Figur 18 Avspelningskontroller för video

Här visas vilket steg, alternativt bildruta (i videon) eller tid, som visas. Detta kan ändras för att passa applikationen bäst.



Figur 19 Inställning av visningsalternativ

Uppspelningshastigheten anges i % av normal uppspelning, detta behöver man oftast inte ändra. De övriga markeringarna är ”Tillbaka till start” och ”Spela av”, en glider visar var i videon man ligger. Här har vi två svarta markeringar som visar start och stopp i videon, dvs gränserna för videoklippet. Till höger finns kontroller för att stega sig fram med ett antal bildrutor i taget. Här kan man välja hur många steg man vill ta.

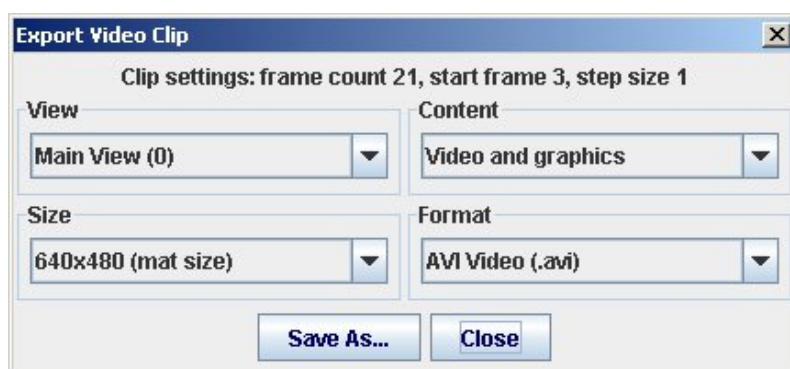
### 3.4.5 Video Filter

Det är möjligt att arbeta med video i Tracker, på så sätt att man kan editera på olika sätt för att sedan spara som en ny modifierad video. Det som man ibland behöver göra är att använda sig av en eller flera video-effekter för att underlätta en analys. Under menyer nämnde vi de filter (video-effekter) som kan användas. Märk väl att om man lagt ned möda på att spela in en video med hög kvalitet så behövs oftast inte detta. De filter som finns är:

- **Baseline** subtraherar en bakgrundbild från alla bildrutor.
- **Brightness** ändrar ljusstyrka och kontrast
- **Dark Ghost** lämnar mörka spökbilder av ett objekt.
- **Deinterlace** ger möjlighet att välja udda eller jämna fält i en interlaced video bild. Interlace är ett sätt att ge intrycket av en högre bildhastighet utan att öka storleken på en video. Detta användes i analog TV och finns oftast i äldre video-filmer. Effektivt betyder detta att det ligger två bilder i varje bildruta, där varannan linje tillhör en bild.
- **Ghost** lämnar ljusa spökbilder av ett objekt.
- **Grayscale** visar svart-vit bild.
- **Negative** visar negativ bild.
- **Perspective** används för att korrigera distorsioner som uppstår när man filmar ett objekt från en viss vinkel istället för rakt mot.
- **Radial Distortion** används för att korrigera när man använder Fish-Eye eller vid-vinkel till kameran.
- **Resize**
- **Rotate** roterar videon.
- **Sum** summerar bildrutor eller tar ett medelvärde.

### 3.4.6 Export av video

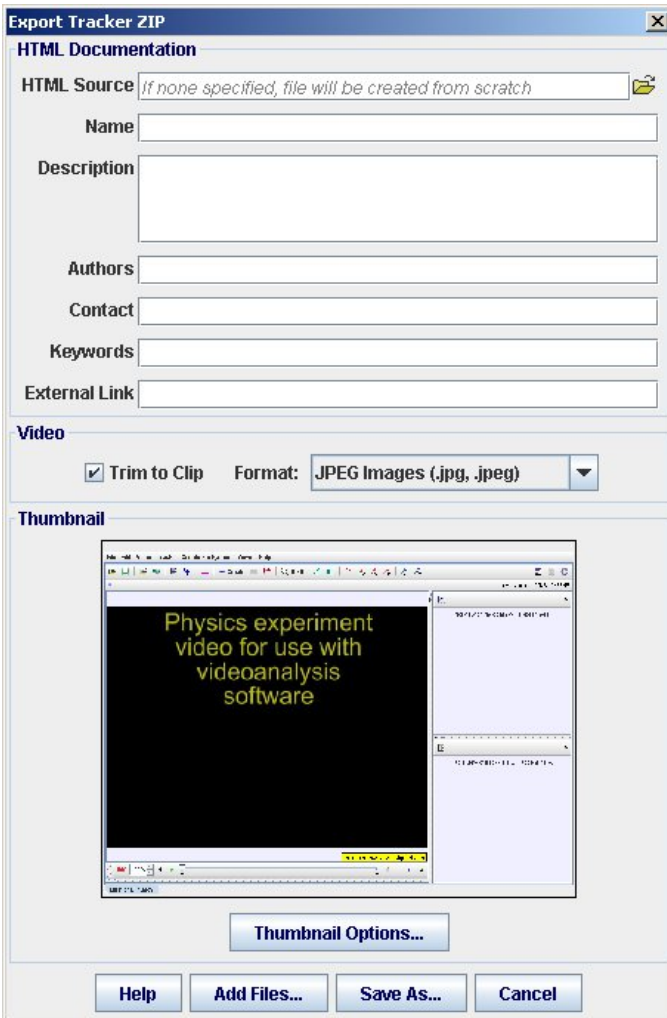
De ändringar man gör i en video är det möjligt att spara, gå till file-menyn och **Export.. Video clip..** Då kommer det upp ett fönster där du bestämmer vad och hur videoklipppet skall sparas.



Figur 20 Fönster för export av video

Här kan man välja att enbart spara videoklipppet eller ev. markeringar (Tracks) som görs i samband med analysen. Det finns även möjlighet att spara i olika format; .avi, .mov, mp4 osv. Detta gör att man kan välja ut det som är relevant för elever och enbart spara detta.

Man kan även spara det man gjort som en Tracker ZIP fil. Man får då fram ett fönster som i figur 21. Här har man då en utökad möjlighet att lägga till kommentarer och uppgifter som oberoende filer i ZIP arkivet. Tracker har möjlighet att öppna ZIP filerna så detta är ett bra sätt att dela färdiga projekt med andra eller använda detta som ett sätt att dela ut individuella uppgifter.



Figur 21 Save Tracker ZIP fil





## 3.5 Koordinatsystem och kalibrering

Genom bildhastigheten (frame rate) har vi en tidskalibrering. En punkt i video representerar en unik punkt i videon, men då videon är en (kamera-) bild av verkligheten så har även punkten i videon en position i verkligheten då relativt ett specifikt laboratorie referenssystem. Uppgiften som vi då har är att överföra positionen i bilden till en specifik punkt i laboratorie referenssystemet. Detta kan vi göra genom att använda **Coordinate System**.

Positionen i bilden är pixel positionen, som mäts från den övre vänstra hörnet i bilden. Den positiva x-axeln går mot höger och den positiva y-axeln går nedåt. Här får vi dock även använda bild-enheter (image units), dessa är som pixlar, men de är inte heltal. Med andra ord så har centrum av den översta vänstra bildrutan koordinaterna (0,5 , 0,5) medan bildpositionen är (0,0) för den översta vänstra pixeln. Detta är viktigt att komma ihåg då detta ger upplösningen.

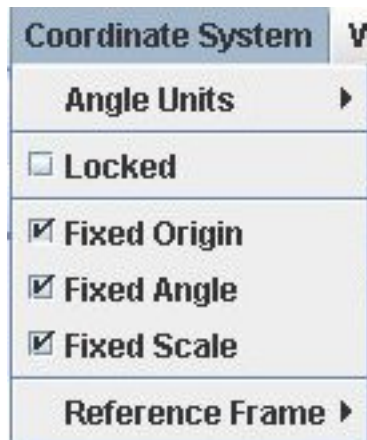
Den verkliga positionen är den skalade positionen för punkten relativt ett specificerad referenssystem. Det vill säga vi behöver använda ett referenssystem som vi känner i verkligheten och som finns med på bilderna i videon. Vi behöver således kunna definiera följande i videon:

1. **Origo:** Bild koordinaterna för origo i laboratorie systemet.
2. **Vinkel:** Vinkeln mellan bildens x-axel och laboratoriesystemets x-axel.
3. **Längdskala:** Laboratorie systemets längdskala, i antal bild enheter (pixels) per längdenhet i laboratoriesystemet.

Har vi definierat dessa så sköter Tracket automatiskt en koppling mellan verkligheten och videon, så att vi kan få videoenheterna i verkliga enheter.

### 3.5.1 *Coordinate system meny*

I menyn kan man bestämma vilken enhet man vill ha på vinklarna. Men det viktigaste handlar om vilken typ av låsning av koordinatsystemet man använder. Ett fixerat koordinatsystem är det samma i alla bildrutorna, så bestämmer man koordinatsystemet i en bildruta så har man det för hela videoklippen.




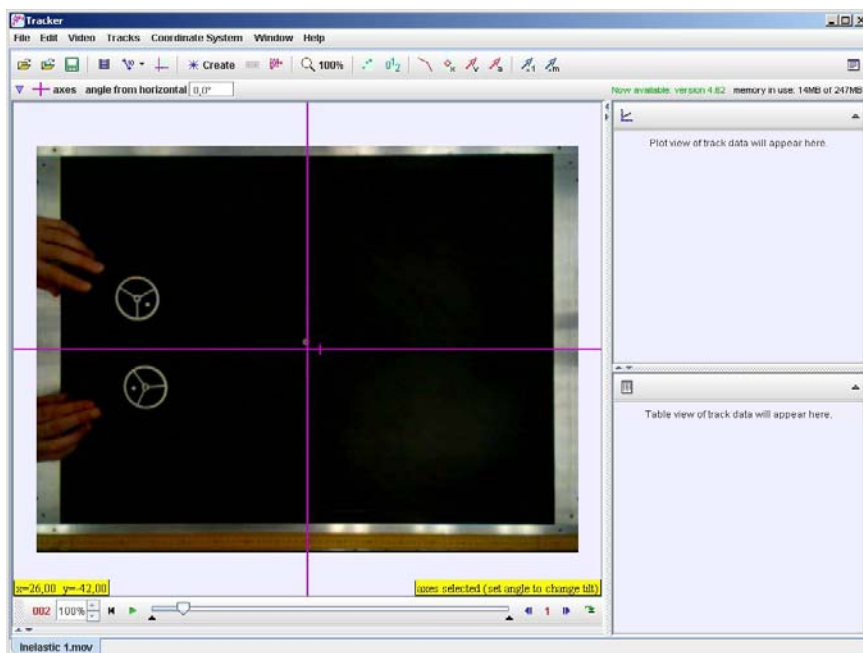
**Figur 22** Meny för inställning av koordinatsystem

I dom fall där man har en video som zoomar, panorerer eller vrids, så väljer man bort den/dom som ändras. Då måste dessa dock bestämmas i varje bildruta oberoende av dom andra.

**Reference Frame** möjliggör att man kan låta koordinatsystemet följa ett markerat objekt eller masscentrum (centre of mass) i videoklipppet. Vinkel och skalan bibehålls dock. Detta är speciellt användbart när man studerar kollisioner.

### 3.5.2 Axlar

I verktygslinjen finns en knapp för att visa axlar . Klickar man på den så visas koordinataxlarna och origo i videofönstret.




Figur 23 Tracker med koordinatsystem i videofönstret

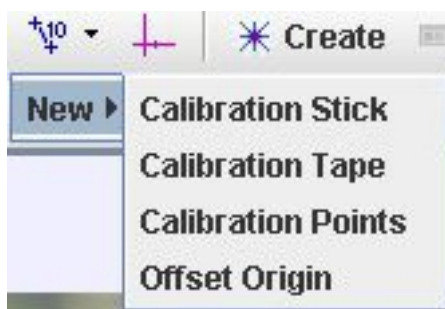
Origo kan flyttas genom click-and-drag, till den position som önskas. Den positiva x-axeln är markerad med ett streck. Vinkeln kan ändras genom att klicka på x-axeln och flytta den till önskad vinkel. Genom att hålla ner shift-tangenten sker detta i steg om  $5^\circ$ . Vinkel som man har i förhållande till bildens x-axel visas i vinkel fältet under verktygslinjen. Det är även möjligt att skriva in vinkeln direkt i fältet.

Man bör välja origo så att tabeller och grafer blir så lättlästa som möjligt. Oftast kan start eller slutpunkten för ett objekt vara lämpligt, dvs att noll ligger i start eller slutpunkten.

### 3.5.3 Längdkalibrering

För att kunna använda videon måste vi veta vilken längdskala som vi har i videon. Kopplingen mellan den verkliga världen och bilden görs med kalibreringsverktyg på verktygsraden . Här får man då valet mellan tre olika kalibreringsverktyg.

- **Calibration Stick**
- **Calibration Tape**
- **Calibration Points**



Figur 24 Many för val av kalibreringsinstrument

**Calibration stick** har en bestämd längd som default (100,0) som inte ändras när du förlänger den genom click-and-drag på någon av ytterpunkterna. Denna är då speciellt lämplig då man har en meterstav i videon.

**Calibration Tape** kan dras ut och ändrar då längd i förhållande till hur långt den dras ut. Denna kan användas då man inte har en meterstav i videon.

**Calibration Points** definierar positionen till två punkter i bilden. Genom detta är calibration points det bästa kalibreringsverktyget som man kan använda, men det är inte det lättaste.

Längdskala och vinkeln visas i fältet under verktygsraden och kan ändras efter behag. Observera att man inte bör ändra vinkeln då det påverkar det valda koordinatsystemet.

För att kommentera eller ändra utseende på kalibreringsverktygen så höger-klickar man på kalibreringsverktyget i videon eller på "calibration stick" i raden under verktygsfältet ovanför videofönstret för fram menyn för ändringar av dessa. När kalibreringen är gjord kan man klicka på kalibreringsverktygsknappen på verktygsraden för att dölja den.

Offset Origin gör det möjligt att placera origo utanför bilden.

## 3.6 Tracks

**Tracks** i Tracker är ett objekt kopplat till videon som utvecklar sig över tid genom att ta tillvara på data som man får genom att markera ett objekt i videon eller genom att skapa en matematisk modell. Alla interaktiva element i Tracker är Tracks, Koordinataxlar, mät och kalibreringsvektyg.

Till dessa räknas också de markeringar som vi gör vid en analys. I detta fall får vi en **Track** från en samling av positionsbestämningar av en detalj i videoklipppet. Dessa positionsbestämningar kallas step (spår) och görs för alla bildrutor i videoklipppet.

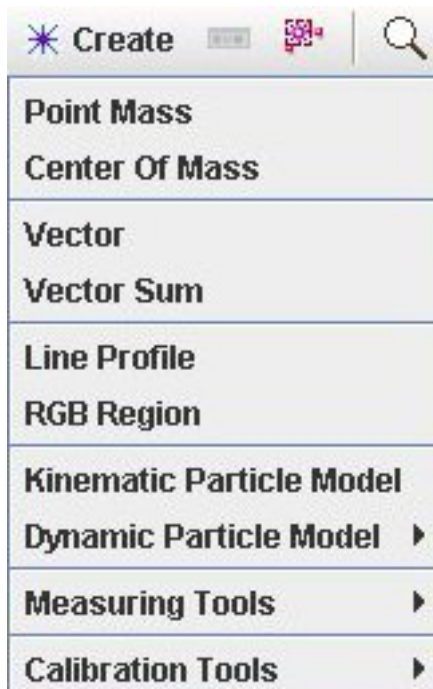
Vi har ett antal olika **Tracks** som kan skapas:

- **Point Mass** objektet som studeras rör sig som en punkt. Denna markeras manuellt eller med **Autotracker**.
- **Center Of Mass** ger masscentrum för ett antal punktmassor. Här använder man sig av redan markerade **Point Mass**.
- **Vector** representerar en vektor.
- **Vector Sum** representerar summan av vektorer.
- **Line Profile** är ett redskap för att mäta intensiteten och RGB data längs en linje i videon, kan användas för analys av spektrallinjer.
- **RGB Region** är ett redskap för att mäta intensiteten och RGB data över tid i en cirkulär region i videon.
- **Analytical Particle Model** skapar ett spår med hjälp av en matematisk analytisk modell, där positionen definieras av tiden. Modellen beskriver positionen utgående från tiden, en given funktion för positionen och givna startvillkor.
- **Dynamic Particle Model** skapar ett spår av en matematisk analytisk modell, där modellen använder kraftekvationer (funktioner som beskriver kraften som verkar på objektet) och startvillkor för att få fram positionen.
- **Measuring Tools** används för att mäta längd eller vinklar i videon.

Här är det inte alla som man normalt använder, varför jag kommer att gå igenom ett urval.

### 3.6.1 Skapa ett track

Detta steg gör man när koordinat axlar och längdskalibrering definierats. Här bör man även ha kontrollerat att det objekt som man skall analysera är väl synligt i alla bildrutor. Ett nytt Track skapas genom att man trycker på **Create** knappen i verktygsraden, eller **Track/New** i menyn och välja ut vilken typ man vill skapa. Denna skapas nu och är automatiskt valt för markering.



Figur 25 Meny för skapandet av ett nytt Track

Här är det värt att påpeka att om man skapar en punktmassa så kan man skriva in dess massa i raden under verktygsraden. Speciellt om man skall analysera rörelsen mer noggrant.

### 3.6.2 Markering av Track

Markering handlar om att bestämma positionen för objektet i alla bildrutorna i videoklipppet. Med punktmassor har vi dock möjligheten att markera manuellt eller med en autotracker funktion, mer om denna i kapitel 3.7.

Den manuella markeringen sker med hjälp av en cursor. För att få fram den håller man nere shift-tangenten och flyttar positionen med musen. När man ligger rätt klickar man med musen, detta markerer positionen och går till nästa bildruta. Det

är viktigt att man markerar i alla bildrutor då hastighet och acceleration inte kan beräknas annars.

För att underlätta markeringen kan det vara en god ide att zooma in för att få en så nöjaktig markering som möjligt.

### 3.6.3 Track Kontroll

Till varje **Track** finns det en knapp som visar dess namn, färg och symbol, denna visas i videofönstret. Genom att klicka på denna får man fram en meny, där ett antal egenskaper visas och kan förändras.

Här kan man ändra namn. Skriva ett notat som närmare beskriver objektet. Ändra färg och symbol (footprint). Här markerar man dessutom om man vill visa markeringarna eller inte.

Vi har också möjligheten att visa hastighets- och accelerationsvektorerna, relativt positionen eller origo. Här kan vi även ta bort alla markeringar och ta bort hela track.

Det kan vara en god ide att välja symbol och färg som gör att man kan se markeringarna tydligt. Det är även en fördel att skriva så tydliga notater som möjligt speciellt om man sparar sessionen. Detta är också positivt då man skaffar sig en vana att anteckna så mycket som möjligt.

Det mest intressanta på menyn är Autotracker... som gör det möjligt att markera ett objekt automatiskt.



Figur 26 Trackkontroll meny

### 3.7 Autotracker

I många fall kan det röra sig om ett stort antal bildrutor som skall analyseras, något som gör en manuell markering tidskrävande. Har man då en video av hög kvalitet och ett (eller flera) objekt som har en konsistent form, färg, storlek och orientering i alla bildrutorna, kan man använda den automatiska markeringsfunktionen **Autotracker**. Förutom att man slipper att markera manuellt så får man även mer konsistenta data.

För att kunna utnyttja denna funktion bör man när man spelar in en video ha detta i tankarna, och använda sig av markörer, gärna i olika färger. Det bästa resultatet får man med cirkulära markörer, en vit eller svart ring runt ett färgat centrum. Här kan man då använda olika färger för olika objekt.

**Autotracker** fungerar genom att man definierar en mall (template) i bilden. Denna förlaga jämförs med allt innehåll i bildrutorna för att hitta den bästa överensstämmelsen (match). Jämförelsen görs genom att ta inversen av kvadraten på RGB komponenterna i ett antal pixels, motsvarande storleken på mallen, för att få fram den bästa överensstämmelsen. Detta gör att det bästa är att använda färger för markören.

En inbyggd funktion är en automatisk förändring av mallarna för att kunna anpassa till förändringar i form och färg, på grund av rörelsen och förändringar i belysningen.

Då mallen har en utsträckning så måste man definiera ett mål (target) som är den punkt som markeras och sparas i tabeller för objektets position. Observera att målet inte behöver vara inom mallen. Men oftast så låter man den vara i centrum av mallen.

För att inte behöva söka över hela bildrutan definieras ett sökområde. Det vill säga autotracker söker enbart inom detta området. Det är därför lämpligt att försöka begränsa sökområdet för att sökningen skall gå fortare. Efter att de två första bildrutorna är analyserade kommer hastigheten och accelerationen att kunna användas för att flytta sökområdet. Detta är ytterligare ett sätt för att få en snabbare markering. Denna **Look Ahead** funktion är mycket användbar, men man måste passa på så att man inte har för stora förändringar (accelerationer) som gör att objektet kan hamna utanför sökområdet. Man kan även begränsa sökningen till en dimension.

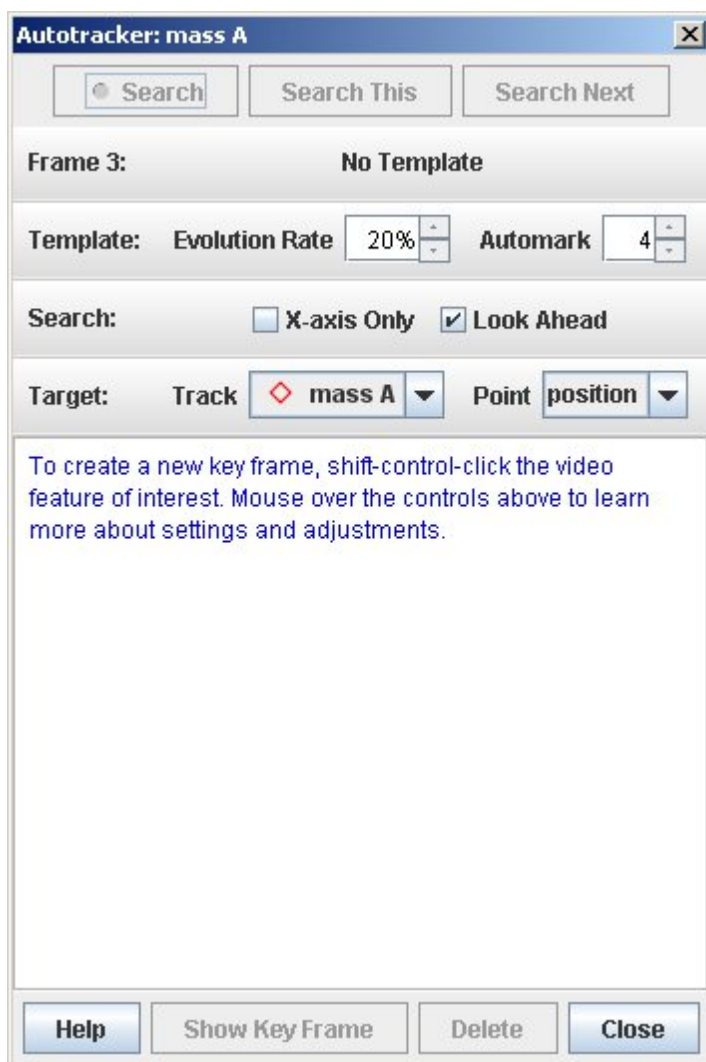
Precis som med den manuella markeringen kan man alltid gå tillbaka och modifiera markeringarna genom att flytta markeringen med musen.



### 3.7.1 Använda Autotracker

När man har gått igenom videoklippet och kontrollerat att objektet man vill markera syns tydligt i alla bildrutor kan man starta **autotracker**.

**Autotracker** kan startas både från verktygsraden och från **Track Control**. Man får då fram kontrollfönstret för autotracker.



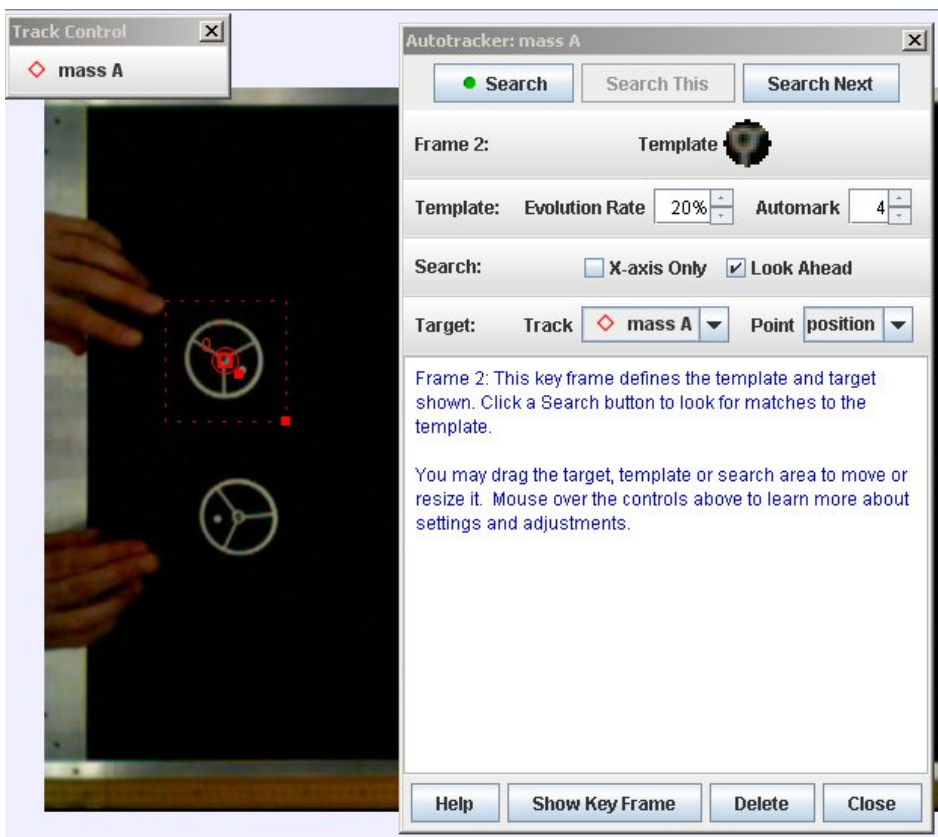
Figur 27 Kontrollfönster för autotracker vid uppstart

Det är nu dags att markera en mall i bildrutan. Detta gör man genom Shift-Ctrl-click på det objekt man vill analysera. Har man inte öppnat autotracker innan, så startar detta autotracker automatiskt. När vi markerat objektet får vi ett resultat som i figur 28.

Där vi kan se förlagan, målet och sökområdet. Här kan man nu öka storleken på förlagan genom att klicka på den lilla fyrkanten längs kanten på förlagan och dra ut den. Även målet kan flyttas om det hamnade fel.

Sökområdet kan även ökas eller minskas, men blir det för litet så kan objektet hamna utanför, blir det för stort tar det längre tid för autotracker. Dessutom bör man tänka på att inga liknande objekt bör komma in i sökområdet under videoklipppet.

Man är nu i princip klar för att starta sökningen. Dock kan det vara en ide att ändra på inställningarna för att sökningen skall bli optimal.



Figur 28 Kontrollfönster för Autotracker med markeringar i videofönstret

I kontrollfönstret finns ett antal kommandon.

Sökknappar:

1. **Search** startar sökandet och går igenom alla bildrutor i videon.
2. **Search This** söker enbart i den aktuella bildrutan. Denna är användbar om man behöver justera sökområdet.
3. **Search Next** söker enbart nästa bildruta. Med denna har du möjlighet att kontrollera varje sökning innan du går vidare.

**Template:**

Förlagan bör vara så unik som möjligt, men samtidigt kan den ändra utseende. Detta kan man komma förbi genom att sätta **Evolution rate**, som definierar den förändring som kan inträffa. Har man en **Evolution Rate** på 0 % innebär det att förlagan inte förändras. Medan 100 % innebär att den sista markeringen blir en ny förlaga. Här bör man inte använda en för stor **Evolution Rate** då detta kan göra att man får en drift bort från förlagan. 20 % är ett ganska bra värde.

Automark sätter gränsen för hur stor skillnad mellan förlagan och objektet kan vara för att den inte kan markeras automatiskt. 4 eller 3 är ett ganska bra värde men ju lägre värde man har, desto större risk för felaktiga markeringar. Om autotracker inte hittar en match så kommer man få ett felmeddelande och kan då åtgärda detta på olika sätt.

**Search:**

**Look Ahead** underlättar sökningen genom att den använder en algoritm som tar hänsyn till hastigheten på objektet och flyttar sökområdet enligt denna. Väljer man inte denna funktionen ligger centrum i sökområdet i den förra matchen.

**X-axis Only**, begränsar sökandet till x-axeln, vilket kan vara en fördel i en-dimensionella experiment. Problemet kan dock uppstå om objektet rör sig i y-riktningen och hamnar utanför sökområdet.

**Target:**

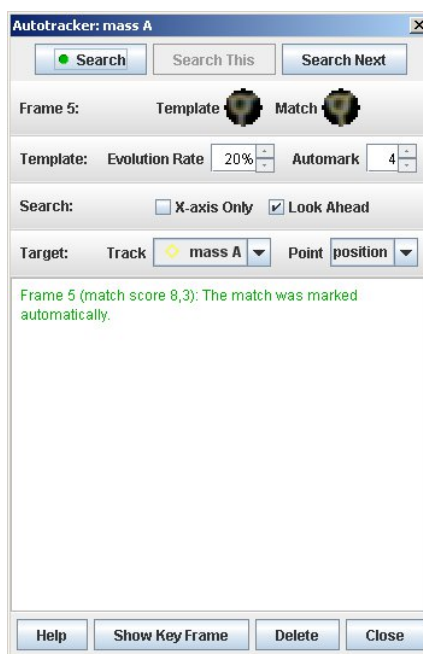
Visar vilket **Track** och vilken punkt som markeras.

### **3.7.2 Sökresultat.**

Sökresultatet för varje bildruta kan studeras genom att stega sig fram till bildrutan i taget med videokontrollen samtidigt som kontrollfönstret till Autotracker är öppet,

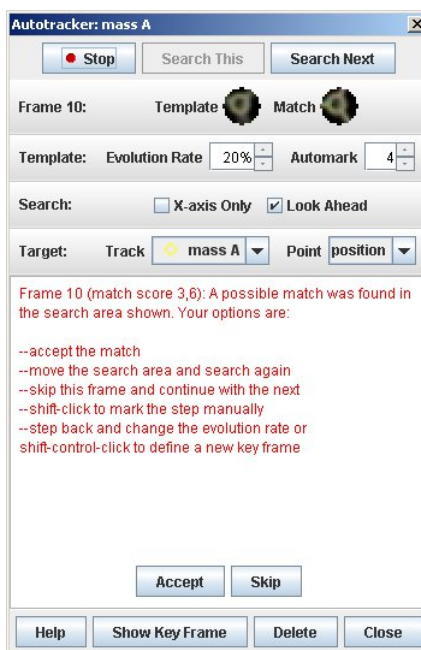
eller genom att använda Search Next. Autotracker kan ge någon av följande sökresultat.

1. **Match** en överensstämmelse över automark nivån hittades och markerades automatiskt.



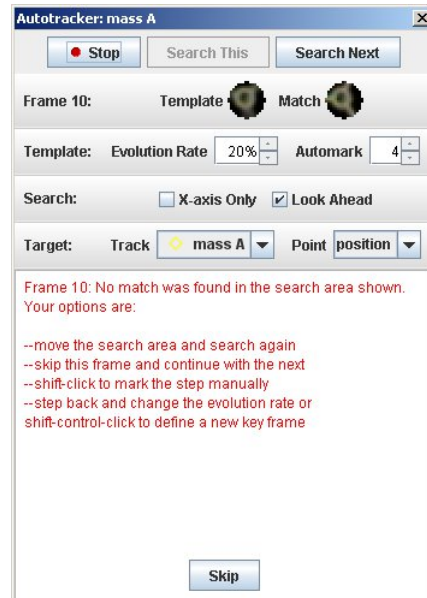
**Figur 29** Kontrollfönstret för Autotracker med en match

2. En möjlig match tittades. Här måste användaren intervensera.
- Man kan acceptera matchen.
  - Markera manuellt med shift-click.
  - Flytta sökområdet.
  - Hoppa över bildrutan.
  - Gå tillbaka och ändra inställningarna för söket.



**Figur 30** Kontrollfönstret för Autotracker med en möjlig match

3. Ingen match hittades. Här måste användaren intervensera.
  - a. Markera manuellt med shift-click.
  - b. Flytta sökområdet.
  - c. Hoppa över bildrutan.
  - d. Gå tillbaka och ändra inställningarna för söknet.

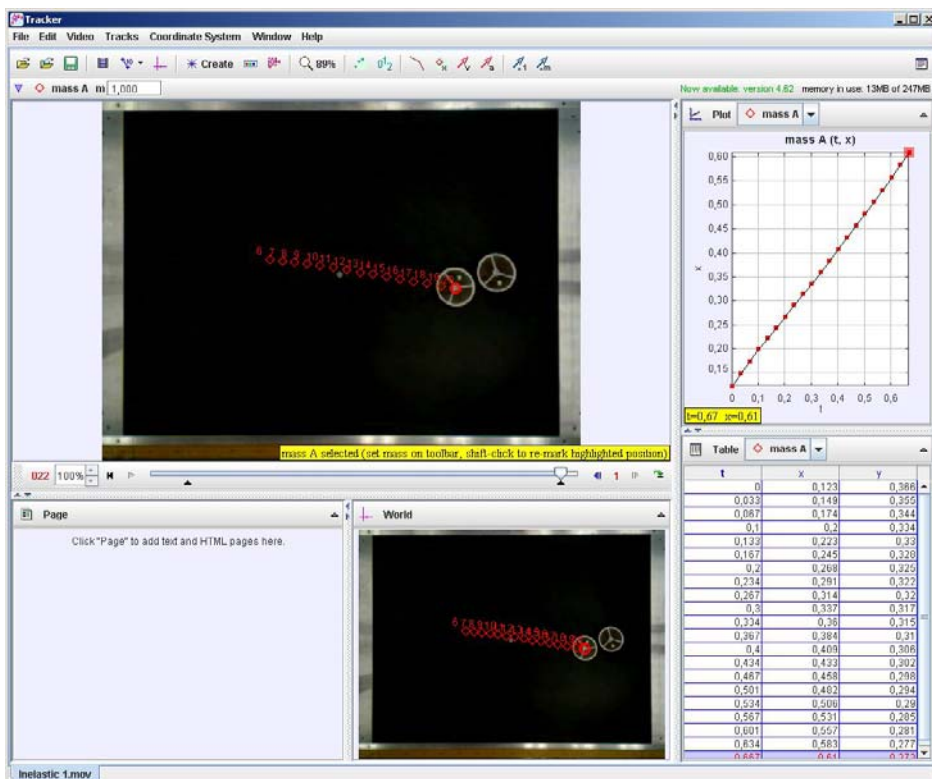


**Figur 31 Kontrollfönstret för Autotracker utan en match**

4. Kan inte söka! Det kan hända att sökområdet hamnar utanför videon eller om man söker i 1-D att sökområdet inte omfattar x-axeln. Inträffar detta bör man starta om eller prova som vid ingen match.

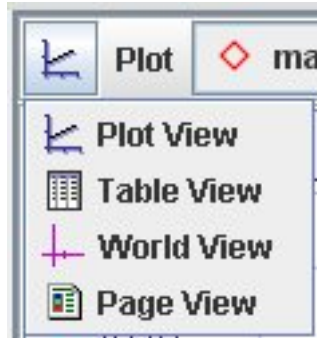
### 3.8 Presentation av data

Genom markeringen av ett track har objektets x- och y-koordinater i det gällande koordinatsystemet sparats. Dessa data kan presenteras på olika sätt som en graf eller i en tabell. Presentationen gör i olika fönster. Här kan man välja om man vill ha dessa till höger eller under videofönstret i Window-menyn.



Figur 32 Presentation av data i fönster till höger och under videofönstret

I figur 32 visas de olika fönstren som kan väljas och deras position. Graf (plot) och tabell fönstren till höger samt World och Page fönstren under. World-fönstret visar videon, medan Page-fönstret gör det möjligt att visa text eller en web-sida om försöket. Det är möjligt att själv välja vilket fönster man vill ha genom att klicka på figuren som visar vilken typ som visas.



Figur 33 Val av visning av data

Varje fönster är knuten till en specifik **Track** som då måste specificeras. Då man har tillgång till 4 separata fönster är det möjligt att på samma gång visa grafer för 4 olika tracks.

Det är möjligt att ändra storleken på fönstren genom att flytta på ”väggarna”

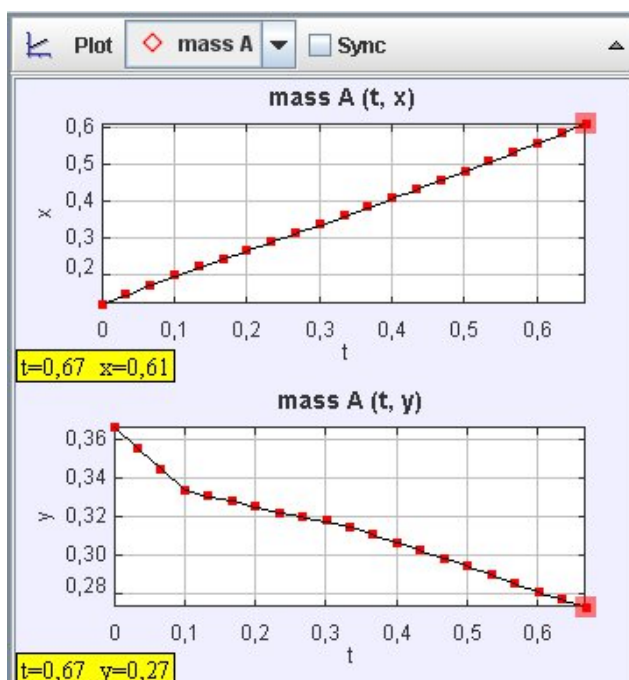
Vi skall nu gå igenom graf och tabell fönstren i större detalj.



### 3.9 Graffönstret

Fönstret visar en graf av valda data . Här finns en finess, på så sätt att den bildruta som man visar i videofönstret samtidigt har sin data punkt särskilt markerad, och vi kan läsa av vilka värden den har i nedre vänstra hörnet (se Figur 34)

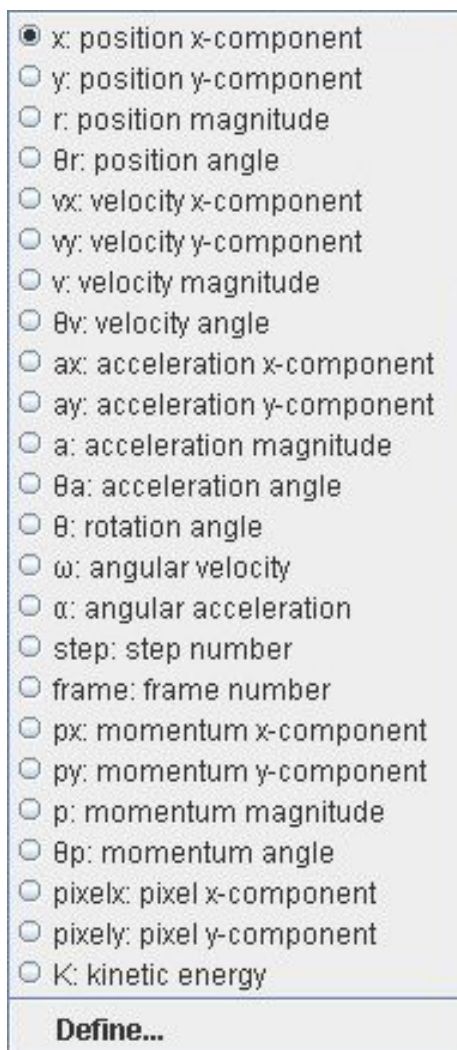
Man har möjlighet att i varje fönster visa upp till tre olika grafer. Detta gör man genom att klicka på plots och välja antalet som önskas.



Figur 34 Graffönstret med två grafer

Sync funktionen gör att horisontal axlarna synkroniseras.

Vilka variabler som visas kan man ändra genom att vänster-klicka på variabeln i tabellen, varvid en meny med olika variabler dyker upp. Tidsvariabeln finns dock bara för x-axeln. Om man vill använda en variabel som inte finns i menyn, kan man definiera sin egen variabel genom **Define** ( fås fram genom att höger-klicka på graf eller tabell) som startar **Data Builder** (se 3.10.1).



**Figur 35** Valbara variabler för grafer

Skalan på axlarna skalar automatiskt för bästa översikt. Det finns dock ett antal möjligheter att själv ändra skalorna.

1. Håll nere höger musknapp och dra för att markera ett område av grafen, när pop-up menyn dyker upp väljs **Zoom in** för att zooma in på området. I menyn (figur 36) hittar du även **Zoom out**, **Autoscale** och **Scale..** som öppnar ett fönster där du skriver in gränserna eller väljer auto för skalorna.
2. Flytta musen till mitten av skalan tills en dubbelpil dyker upp, klicka och dra för att flytta grafen längs skalan utan att zooma.
3. Flytta musen till någon av ändarna på skalan tills en enkelpil dyker upp, klicka och dra för att ändra skalan medan den andra änden hålls fixt.
4. Håll nere Alt-knappen tills en fyrvägs-pil dyker upp, flytta sedan grafen utan att zooma.
5. Flytta musen till änden av skalan tills ett pop-up fönster dyker upp, där du kan bestämma gränsen på skalan.



**Figur 36 Pop-up manyr för graffönstret**

Med pop-up menyn kan man även dölja linjer och punkter.

Det finns ytterligare två användbara funktioner, **Define..** och **Analyze..** som jag kommer ta upp med tabell och analys av data, respektive.

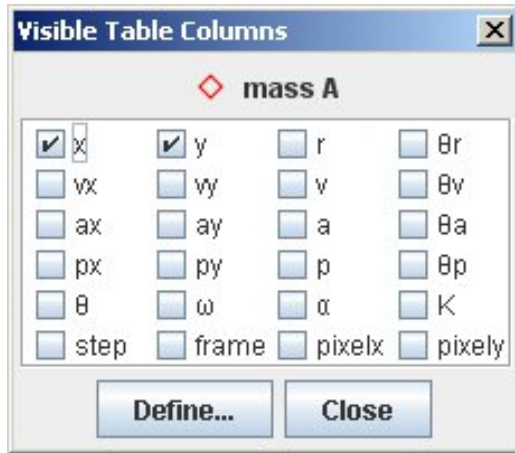
### 3.10 Tabell fönstret

I tabellfönstret visas en tabell med data för ett Track. Det är som i fallet med graffönstret möjligt att välja vilket track man vill visa. Data i tabellerna kan kopieras till andra program eller analyseras med **Data Tool** (se 3.11).

t	x	y
0	0,14	0,22
0,033	0,169	0,23
0,067	0,198	0,24
0,1	0,226	0,25
0,133	0,257	0,251
0,167	0,287	0,253
0,2	0,316	0,256
0,234	0,345	0,259
0,267	0,375	0,261
0,3	0,403	0,262
0,334	0,431	0,265
0,367	0,458	0,268
0,4	0,485	0,271
0,434	0,511	0,274
0,467	0,538	0,277
0,501	0,564	0,281

Figur 37 Tabellfönstret

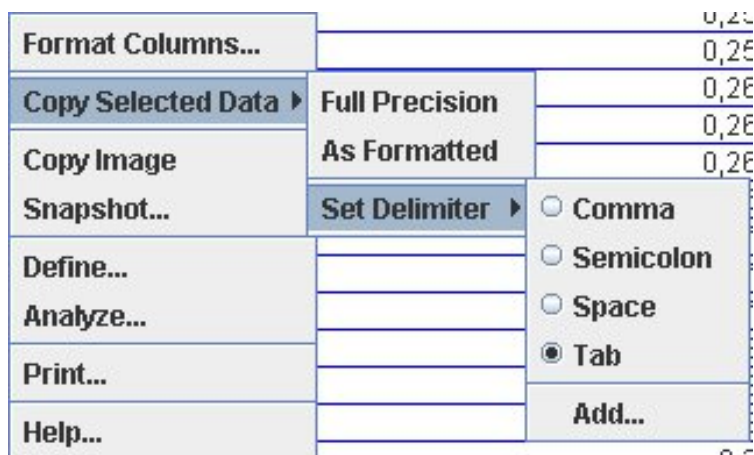
Data som presenteras är tiden samt x- och y-positionerna. Men det är möjligt att välja ett antal olika variabler att visas. Genom att klicka på Table får man upp ett fönster med möjliga variabler.



Figur 38 Fönster för val av variabler som visas i tabeller

Här bör man vara observant på att vissa tabell-celler kan vara tomma på grund av att det inte går att bestämma värdena i dom, detta gäller hastighet och acceleration.

Höger-klickar man i tabellen så får man en pop-up meny där man kan formatera kolumner. Här finns också en förfinad möjlighet att kopiera data till andra program. Data väljs på sedvanligt sätt genom att klicka och dra, samt använda Shift och Control. I pop-up menyn väljer man **Copy Selected Data**, här kan man spara med full precision eller i formater som visas i tabellen. Data kopieras, standardmässigt, som text strängar med tab som avgänsare mellan kolumner och LR mellan rader. Detta går dock att ändra i **Set Delimiter**.

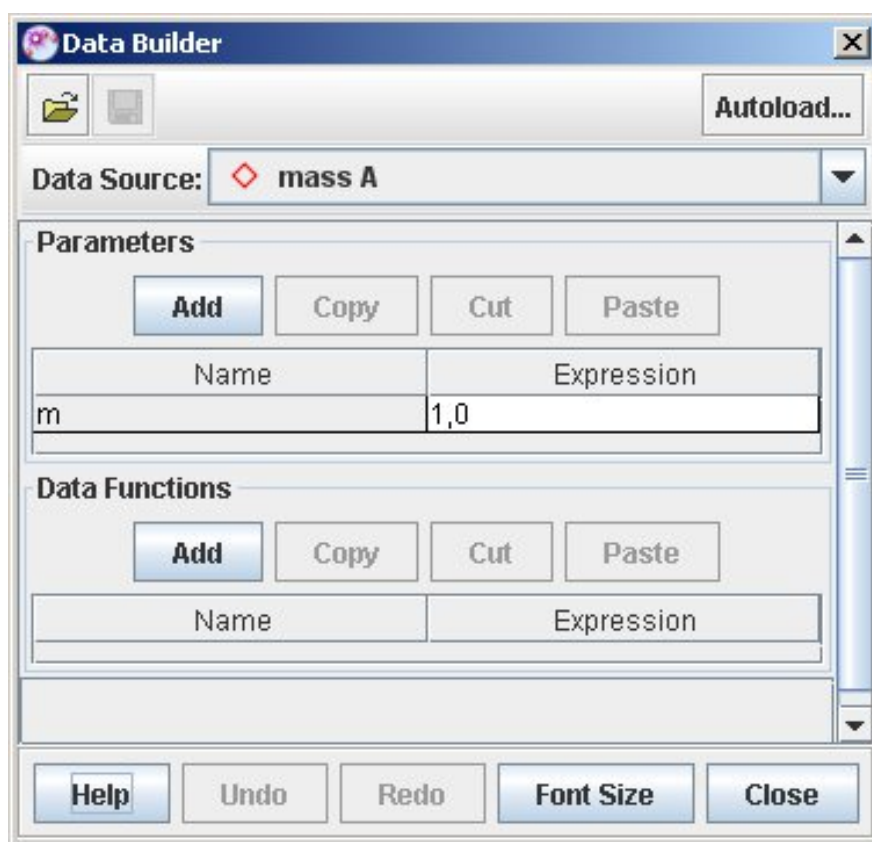


Figur 39 Pop-up meny i data-fönstret

Både i graf-fönstret och tabell-fönstret är det möjligt att lägga till nya data kolumner. Här måste man då definiera hur dessa skall beräknas, detta sker i **Data Builder** (se kap. 3.10.1).

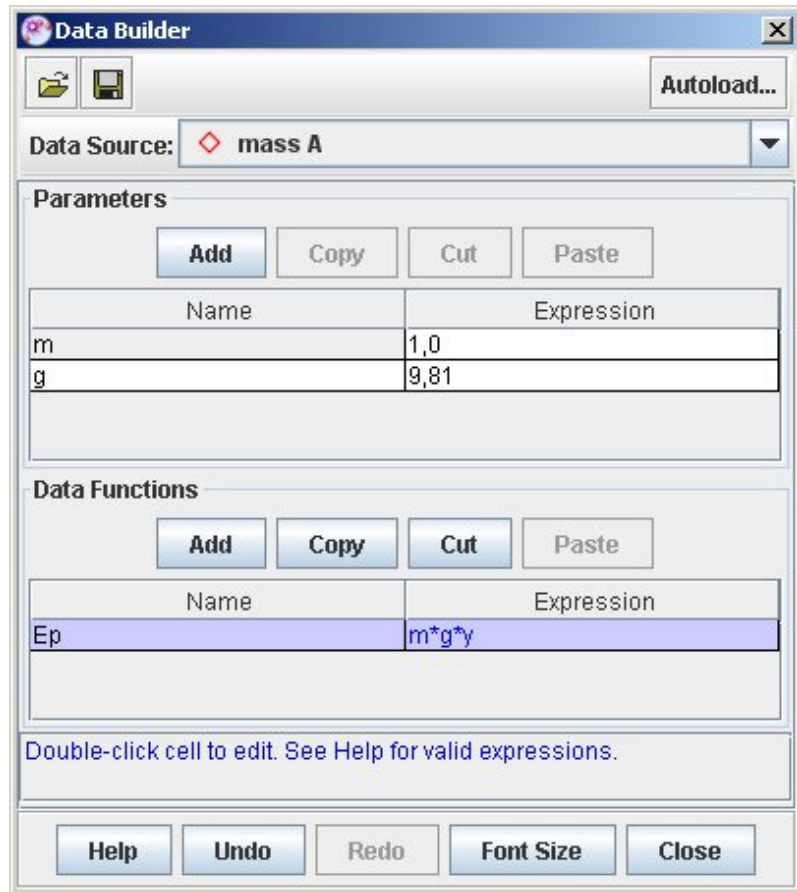
### 3.10.1 Data Builder

**Data Builder** gör det möjligt att själv definiera data och plotta grafer. Det lämpligaste är att skapa nya data i tabellfönstret. Här höger-klickar man för att få fram pop-up menyn där man väljer **Define..**, nu öppnas **Data Builder** fönstret.



Figur 40 Data Builder fönstret

Data Builder är uppbyggt av två delar. En där man definierar parametrar, som massan, tyngdaccelerationen och andra som används. Dynamiska parametrar som man får från data (x,y, v, etc.) finns redan i listan och behöver inte definieras igen. Den andra delen består av själva data funktionen. Både parametrar och datafunktionen skapas genom att klicka på Add-knapparna.



**Figur 41 Data Builder med datafunktion inskriven**

Datafunktionen kan vara vilken matematisk funktion som helst med parametrar, Track data eller andra definierade datafunktioner. Editeringen sker genom att dubbelklicka på namnet eller uttrycket. De matematiska funktioner som kan användas och syntaxen hittar man i hjälpfönstret.



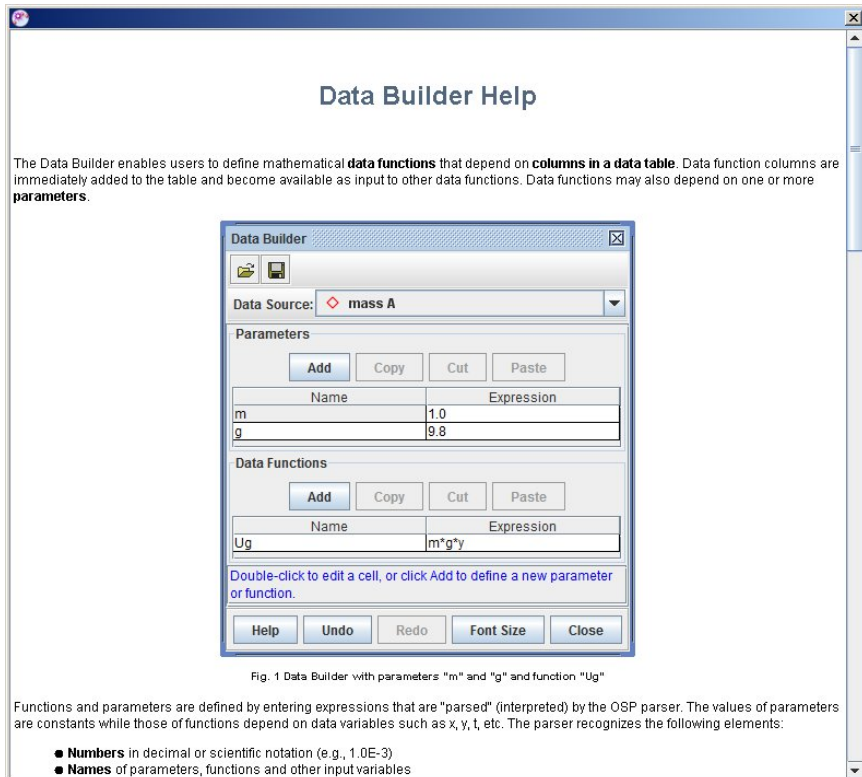
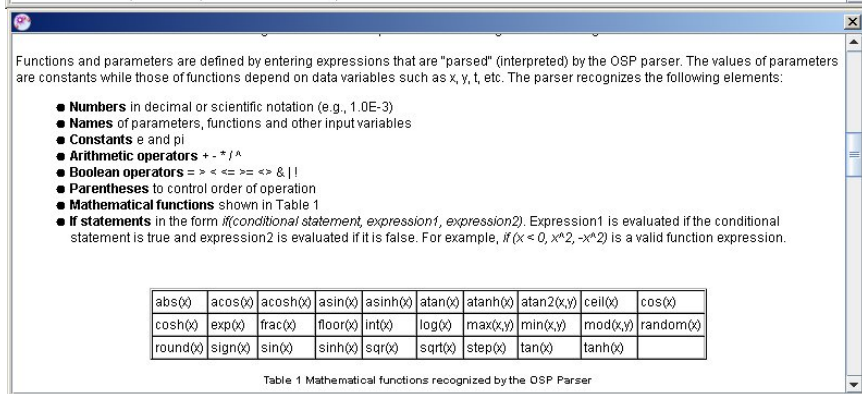


Fig. 1 Data Builder with parameters "m" and "g" and function "Ug"

Functions and parameters are defined by entering expressions that are "parsed" (interpreted) by the OSP parser. The values of parameters are constants while those of functions depend on data variables such as x, y, t, etc. The parser recognizes the following elements:

- **Numbers** in decimal or scientific notation (e.g., 1.0E-3)
- **Names** of parameters, functions and other input variables

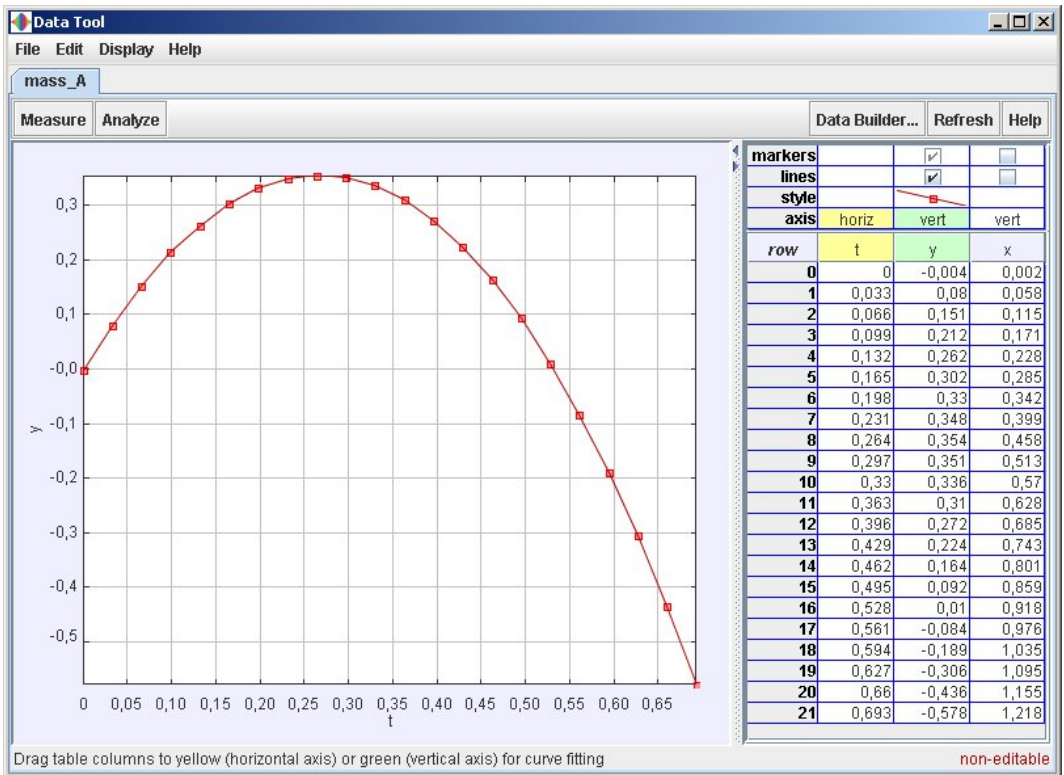


Figur 42 Hjälpfönstret till Data Builder, med matematiska funktioner som kan användas

Observera att data inte visas automatisk i graf eller tabellfönstren utan man måste tala om att dom skall visas.

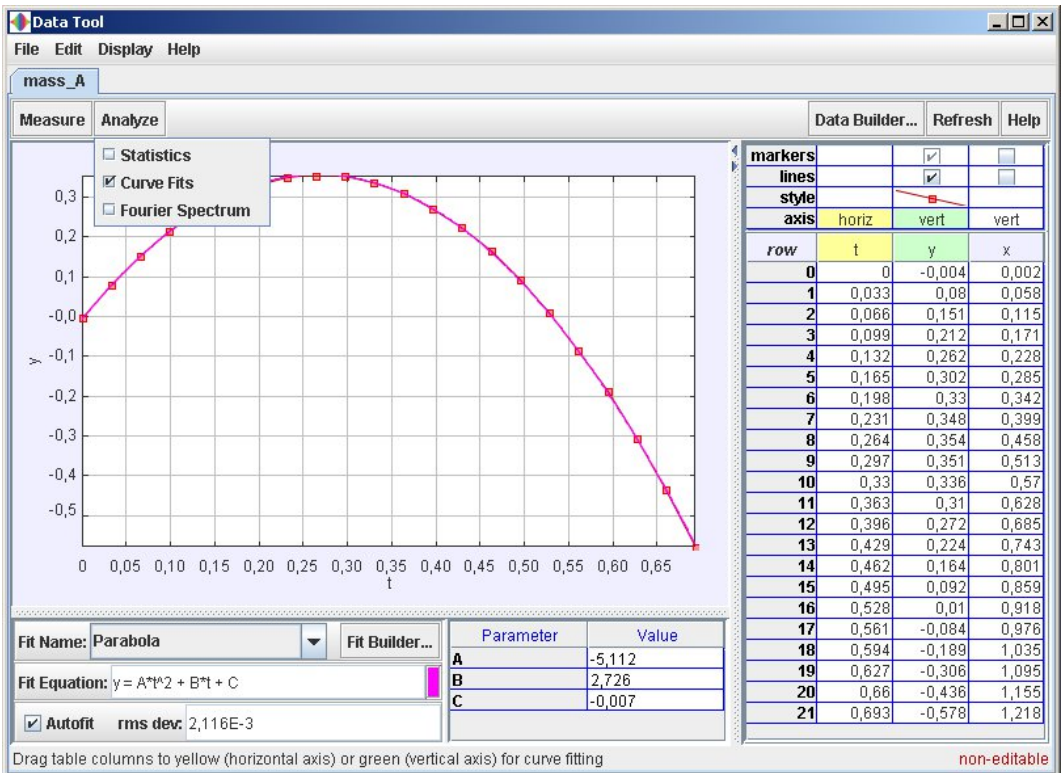
### 3.11 Analysera data (DataTool)

Förutom att exportera data till andra program finns det en möjlighet att analysera data i Tracker och få fram den funktion och de värden på parametrarna som beskriver data bäst. Detta görs med en funktion **Data Tool**, som man startar genom att klicka på **Analyze..** i pop-up menyerna i graf- och tabellfönstren. (pop-up meny får man fram genom att höger-klicka i graf- eller tabellfönstren)



Figur 43 Data Tool fönstret

Här får man upp en graf av den variabel som visas i graf-fönstret om man klickat i det fönstret, klickar man i tabell-fönstret får man upp flera grafer med den första kolumnen som den viktigaste, och denna kan inte avmarkeras. Här är det viktigt att man helst begränsar sig till en graf i taget, då programmet endast kan anpassa till en graf. För att aktivera anpassningsfunktionen måste man markera de verktyg man vill använda i **Measure** och **Analyze**. Figur 43 visar fönstret när en anpassning gjorts, denna får man genom att markera **Fit** rutan och väljer lämplig anpassningsfunktion..



Figur 44 Data Tool med anpassningsfunktionen aktiverad.

Anpassningen får man fram genom att markera plot över grafen. Anpassningen kan göras till sex fördefinierade funktioner:

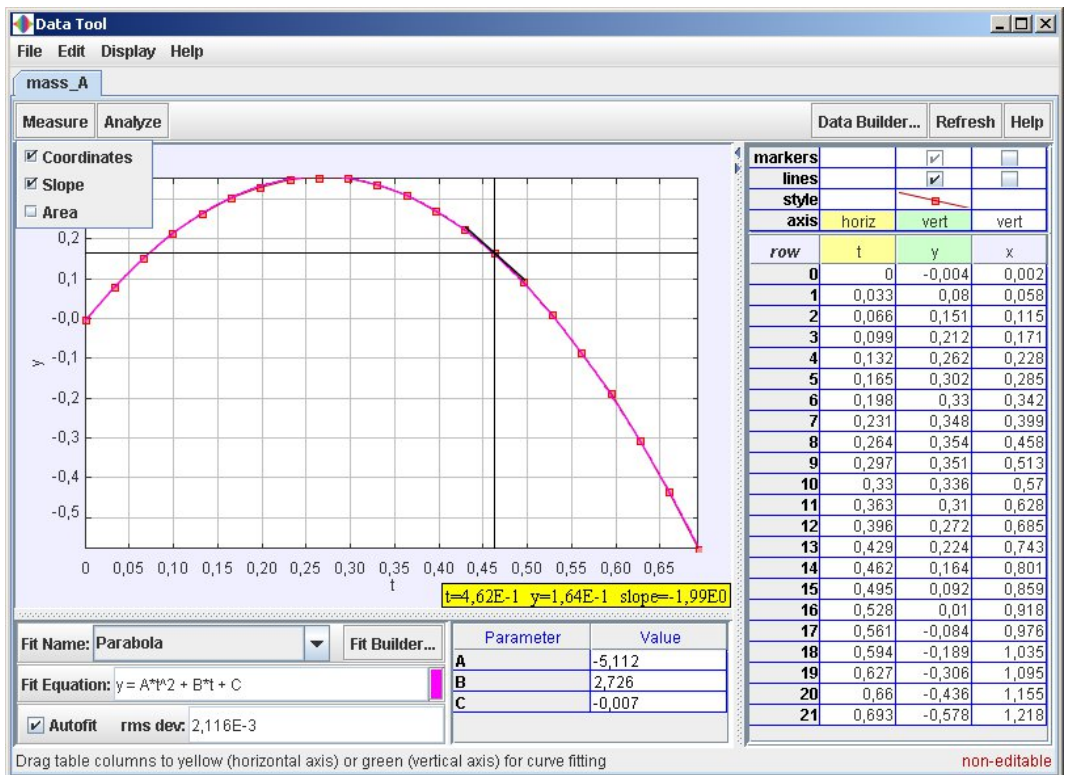
1. Linje,  $y = a*t + b$
2. Kvadratisk (Parabola),  $y = a*t^2 + b*x + c$
3. Kubisk,  $y = a*t^3 + b*x^2 + c*x + d$
4. Gaussisk,  $y = a*\exp(-t-b)^2/c$
5. Exponent,  $y = a*\exp(-b*(t-c))$
6. Harmonisk (Sinusoid),  $y = a*\sin(b*t+c)$

Men det är möjligt att själv skapa sin egen funktion att anpassa till genom **Fit Builder**, som fungerar på liknade sätt som **Data Builder**. Detta är speciellt användbart om man exempelvis vill få ut accelerationen vid fritt fall direkt från anpassningen.

Resultatet av anpassningen visas under grafen, där standardavvikelsen och värdet på parametrarna visas. Man har möjlighet att själv variera eller ange startvärden

för anpassningen. Efter anpassningen kan man klicka på parametervärdena och har då möjlighet att ändra värdet på parametern med 10%, 1% eller 0,1% för att se hur det påverkar anpassningen.

Två funktioner som är nyttiga är Slope och Area, där man kan se lutningen på kurvan och bestämma arean under densamma.



Figur 45 Data Tool med koordinat och lutnings(slope)funktionen aktiverad

Önskar man bara använda delar av kurvan i anpassningen markerar man det intressanta området med höger-klick-dra i grafen eller i tabellen.

## 4 Exempel

Efter att ha gått igenom förutsättningarna och funktionen hos videoanalysprogrammet Tracker kommer jag ge exempel på vad man kan göra med programmet. Jag har inte gått igenom alla finesserna som finns utan räknar med att ni själva kommer att prova på nya saker.

Jag börjar med en genomgång av möjligheterna till att skapa matematiska modeller med Tracker.

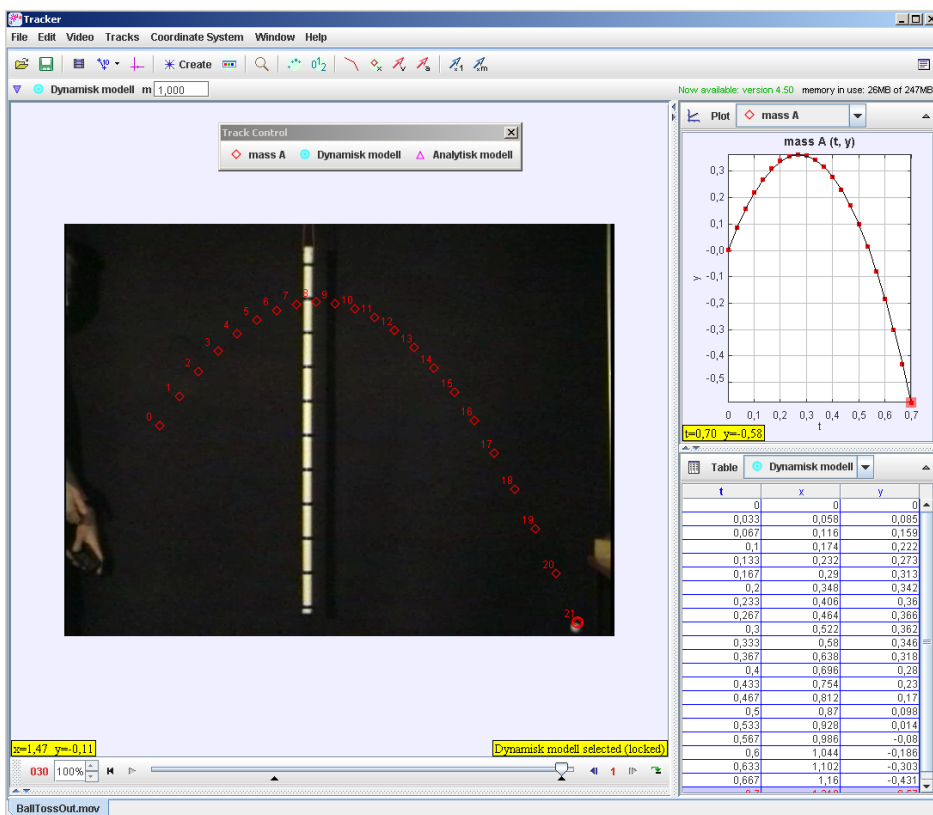


## 5 Videomodellering

I tillägg till videoanalys är det möjligt att skapa modeller i Tracker. Genom att använda en video av ett försök kan man utifrån denna skapa en modell som beskriver förloppet. Det finns två modeller som kan användas. En analytisk modell där funktionerna för positionerna används och en dynamisk där man skapar funktioner för de krafter som verkar på objekten. Den dynamiska modellen är speciellt ägnad åt försök med luftmotstånd.

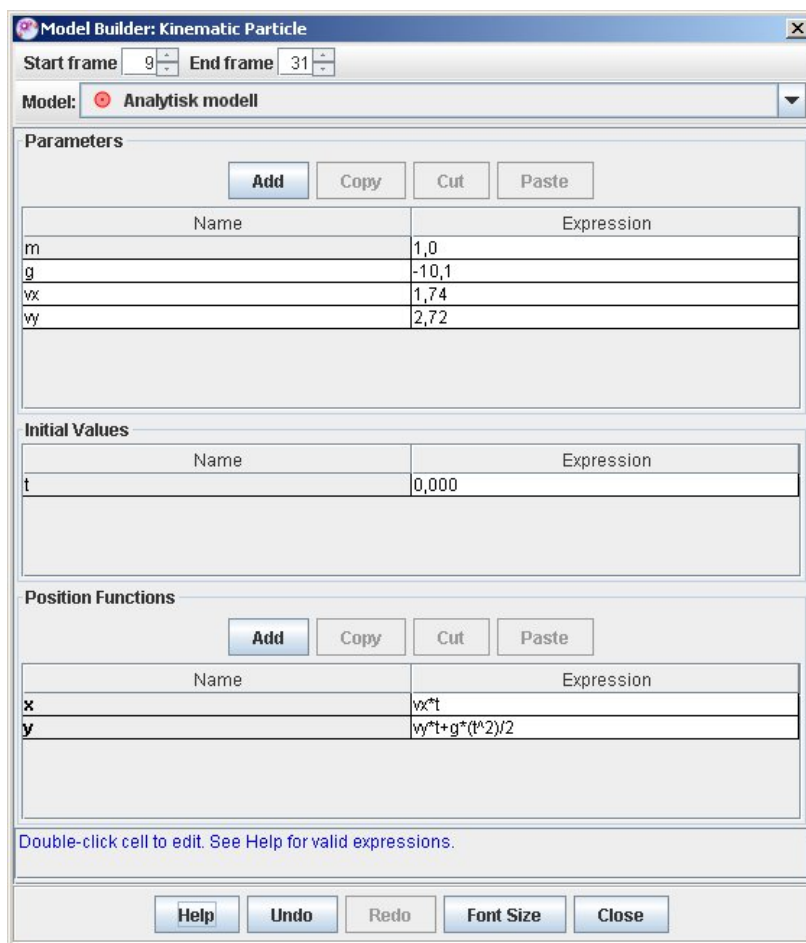
### 5.1 Kast med boll

Ett vanligt försök är kast med en boll. Här känner vi till vilka funktioner som kan användas för att beskriva rörelsen och försöket fungerar som en bra introduktion till att modellera.



Figur 46 Skärmbild med markerade steg i videon. Diagram och tabell som visar positionerna som funktion av tiden

När man har en video kan man analysera den på vanligt sätt och få ett resultat, eller så sätter man upp utmaningen att skapa en modell. Det kan dock vara bra att analysera kastet först för att få startvärden till modellen. Modelleringen skapas på liknande sätt som markeringen i videon genom att skapa ett **Track**, i form av en Partikelmodell (se figur 47) , men nu med att man skall skriva in funktioner och startvärden, något som man gör med **Model Builder** som man hittar i **Track Control**.



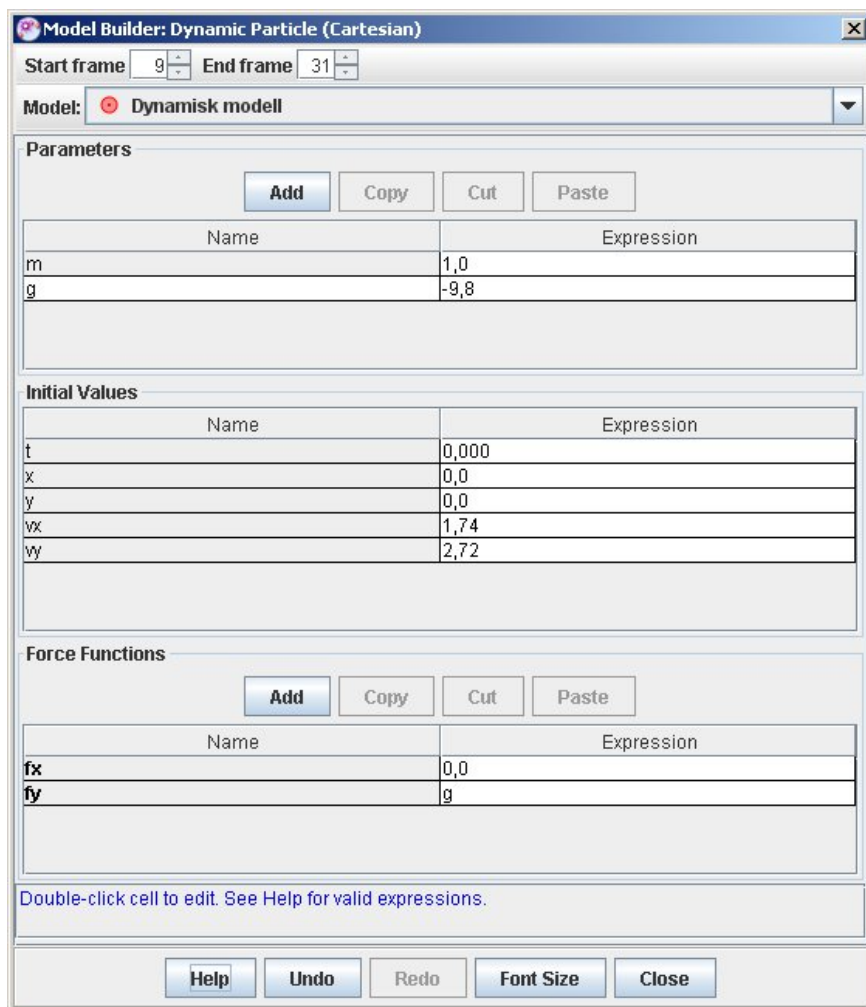
**Figur 47 "Model builder" som skapar modellen. I detta fall en analytisk (kinematisk) modell där positionen räknas fram**

I den analytiska modellen skapar man positionsfunktioner utgående från ett antal parametrar. Här är massan default i programmet och finns alltid i parameterlistan.



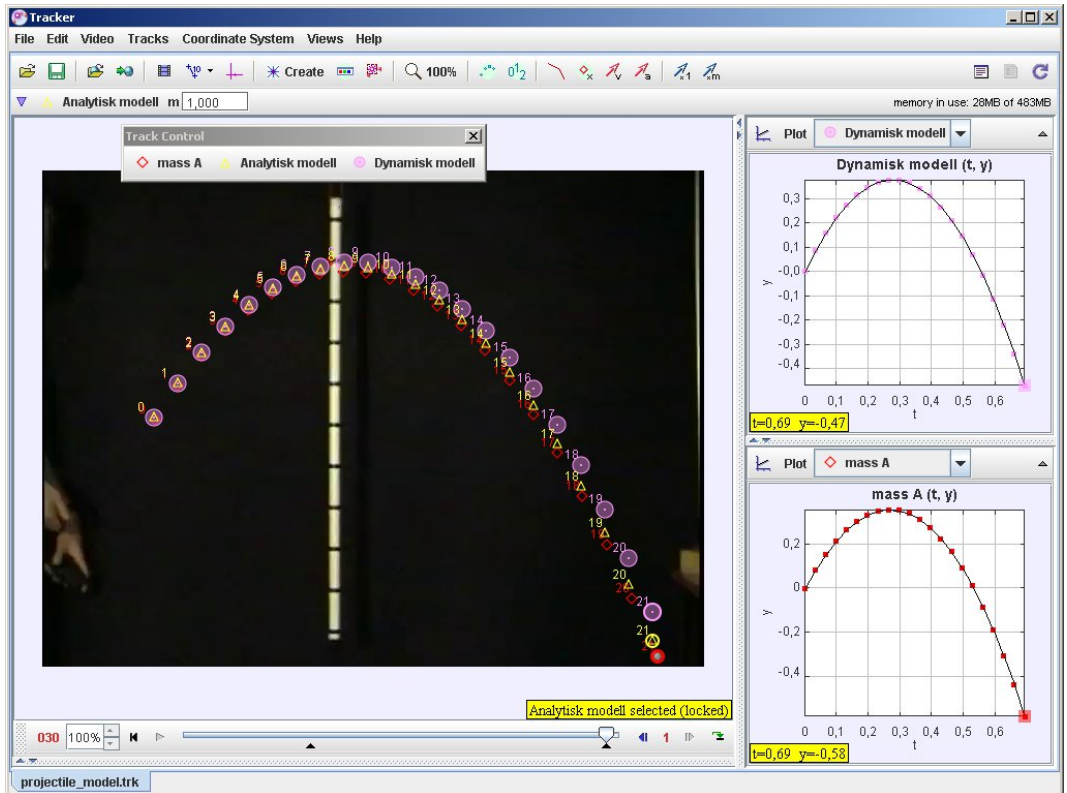
Övriga parametrar lägger man själv till och anger värden på. Dessa värden kan sedan ändras och förändringen blir direkt synlig i video-fönstret. Positionsfunktionerna skapas sedan med hjälp av de definierade parametrarna och tids-variabeln. Modellen som man skapat blir direkt synlig i videofönstret och man får en direkt jämförelse med experimentet.

Den dynamiska modellen arbetar med krafter som verkar på objektet, det vill säga accelerationen som gör att nästa position kan beräknas. Det är i denna modellen som exempelvis luftmotstånd kan inkluderas, som en extern kraft.



Figur 48 "Model builder" som skapar modellen. I detta fall en dynamisk modell där kraft-funktionen används för att räkna fram positionen

Man kan visa flera olika modeller i videofönstret vilket gör att man direkt kan jämföra hur väl olika modeller stämmer med experimentet. För ett enkelt fall som kaströrelse är det inga större problem att få till en bra modell.



Figur 49 Skärmbild där experimentet jämförs med en analytisk och en dynamisk modell, som definierade i figur 47 & 48

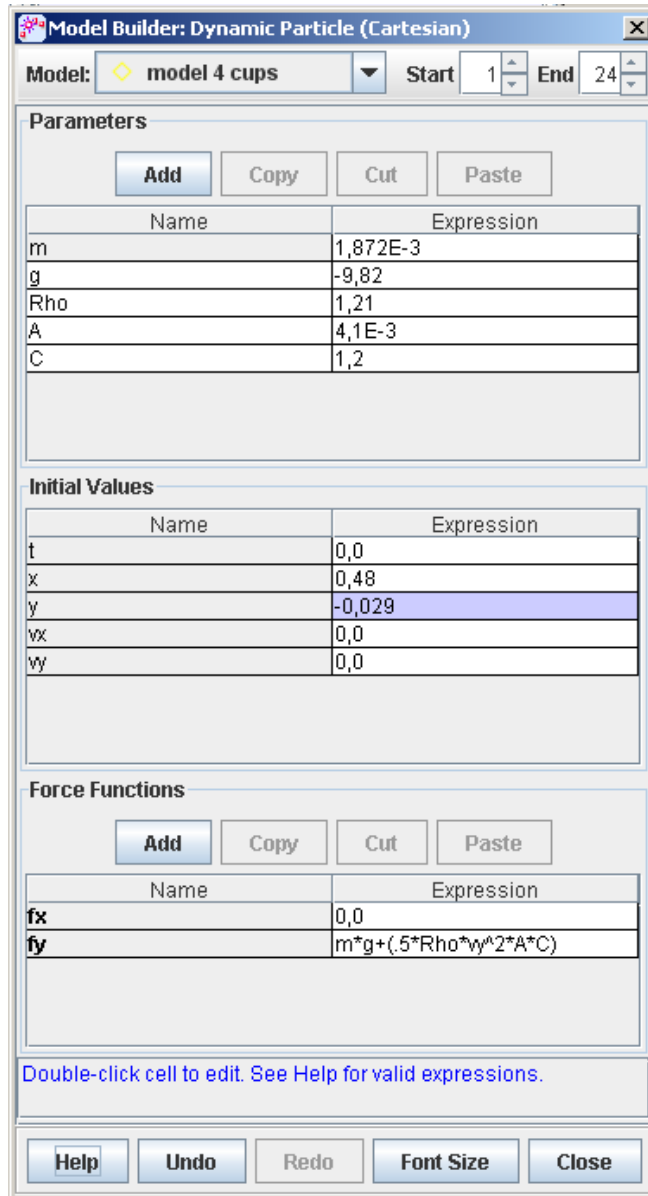
## 5.2 Luftmotstånd

I vardagen måste vi ta hänsyn till luftmotståndet när man gör beräkningar. Genom att bestämma sluthastigheten för exempelvis en muffinsform, kan man ta hänsyn till luftmotståndet. I detta exempel tittar jag på hela rörelsen och inte som vanligast sluthastigheten. Man släpper en muffinsform och spelar in detta på video. Det är möjligt att använda Tracker på vanligt sätt och markera positionen i varje bildruta, och på det sättet bestämma sluthastigheten. Men här skapar vi istället en dynamisk modell och modellerar hela rörelsen.

I detta fall modifieras den kraft som verkar på muffinsformen genom att lägga till luftmotståndet till tyngdkraften. Det finns två modeller, en linjär ( $F = -B \cdot v$ ) eller en kvadratisk ( $F = -\frac{1}{2} C \rho A \cdot v^2$ ), C är en formfaktor, A tvärsnittsarean och  $\rho$

luftens densitet, B är en konstant som innehåller dessa parametrar. Det är främst parametrarna B och C som kan varieras, det vill säga formen. Observera att parametrarna inte ändras för olika massor utan är konstanta. Den variabel som är enklast att ändra i experimentet är massan för muffinsformen, vilket görs genom att använda binders eller genom att släppa flera former som sitter ihop samtidigt.

I **Model builder** skapar vi de modeller som skall användas. I detta fall två modeller, en linjär och en kvadratisk som då kan visas i video-fönstret samtidigt med experimentet.



**Figur 50 "Model builder" där parametrarna och funktionen för den kvadratiska modellen skapas med värden på parametrarna och startvärden för position och hastighet**

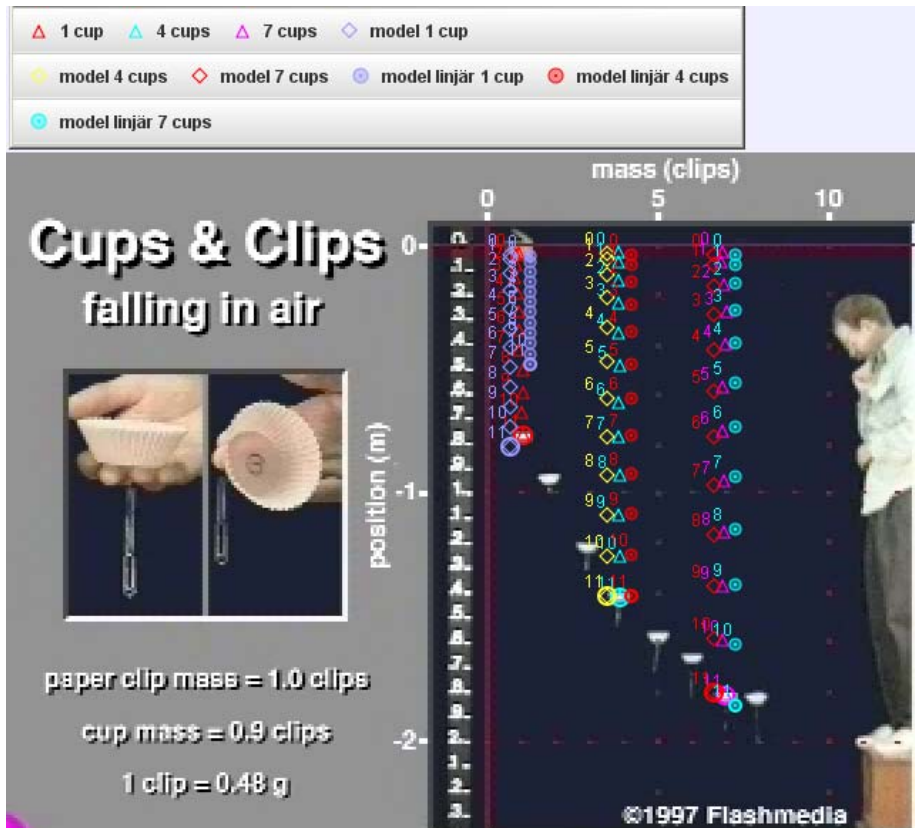
Man kan nu visa modellerna samtidigt med formen som faller och får då en direkt jämförelse hur bra modellerna fungerar. Här används en förinspelad video som följer med Tracker. Här släpps 8 muffinsformar samtidigt och man kan tydligt se att de lättaste påverkas mest. Här tittar vi på tre formar med olika massa ( $m = 1, 4$

och 7 ”binders”) samtidigt som vi skapar två modeller för vardera formen. En med den linjära modellen och en med den kvadratiska. Man kan då se direkt hur väl modellerna fungerar. Den linjära modellen fungerar relativt väl för de tyngre muffinsformarna, men ger helt fel resultat för den lättaste. Parametern B har samma värde i alla fallen, vilket den skall ha. Den kvadratiska modellen fungerar för samtliga massor vilket syns direkt på skärmen.

Det är viktigt att poängtera att man inte behöver titta i tabeller eller diagram utan ser hur bra modellerna direkt ”i videon”, något som kan underlätta för många elever då det blir mer vardagsnära.

Det är möjligt att få den linjära modellen att stämma för alla observationer, men till priset av att man måste ändra på en ”konstant” parameter. Detta kan då fungera som ett sätt att diskutera den vetenskapliga metoden och där en modell måste fungera i alla fall utan att man måste gå in och ändra parametrar som är konstanta.

Tracker ger förutom möjligheten att analysera rörelser även möjlighet till att på ett enkelt sätt skapa modeller som direkt kan jämföras med en ”verklig” situation. Fördelen med detta är att vi kommer närmare vardagen och kan till stor del undvika byten av representationsformer som kan ställa till problem för många elever.

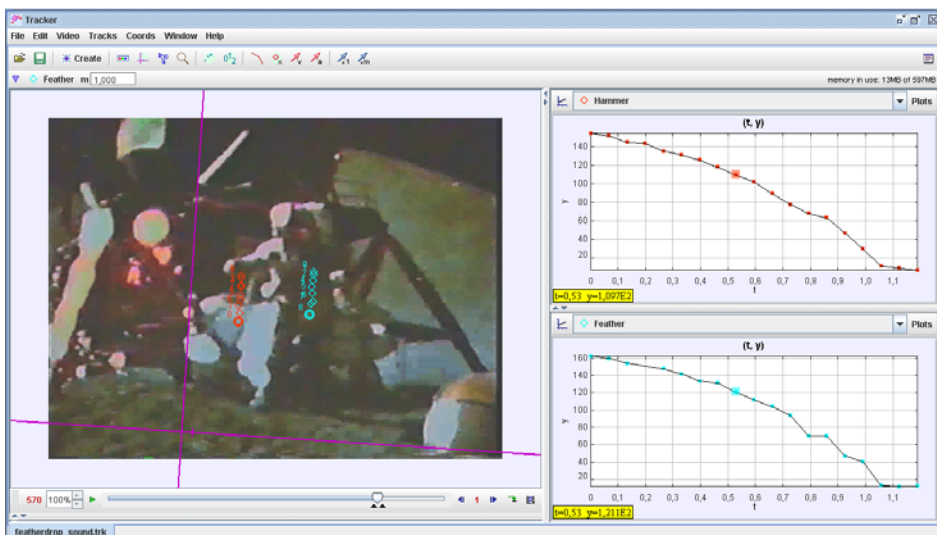


Figur 51 Skärmbild av med formens experimentellt bestämda position och positionen som erhålls från modellerna. Den linjära modellen markeras med en cirkel, den kvadratiska med en diamant och formens position med en triangel

## 6 Gravitasjonskonstanten på månen

Å bestemme akselerasjonen for objekter i fritt fall er ett standard eksperiment i fysikk, som alla elever på et eller annet tidspunkt utfører. Det finnes mange metoder for å gjøre dette, mer eller mindre vellykkede i klasserommet. Utviklingen av videoanalyseverktøy har gitt oss enda en metode. Bruk av en video gjør det mulig å studere mer komplekse og eksotiske situasjoner, eller hverdagsituasjoner der elevene selv har gjort et opptak med for eksempel et mobiltelefonkamera. Hvis en video er tilgjengelig og målestokken er kjent, så er det mulig å analysere bevegelsen.

En av de mest spektakulære demonstrasjonene av objekter i fritt fall ble utført på månen av kommandør for Apollo 15-romferden David Scott. Han holdt en hammer og en fjær ut fra kroppen, slapp dem samtidig, og fordi de ble sluppet i et vakuum falt de med samme hastighet slik Galileo Galilei konkluderte 400 år tidligere. Videoen, som er tilgjengelig på NASAs hjemmeside [1], gjør det mulig å bestemme akselerasjonen grunnet gravitasjonen på månen ved hjelp av videoanalyse.



Figur 52 Videovinduet og plottet av y-posisjonen til hammeren og fjæra i Tracker. Den korrekte y-aksen er vist i videovinduet

Uheldigvis er kvaliteten på videoen ganske dårlig. Det er vanskelig å skille hammeren og fjæren fra bakgrunnen, det finnes ingen kalibrert målestokk, og kameraet er plassert litt skjevt. Både hammeren og fjæra er uskarpe, men det er mulig å observere dem i fritt fall i mer enn 10 bilder på videoen, spesielt i første del av fallet. Det er derfor mulig å skaffe nok informasjon til å uttrykke posisjonen som en funksjon av tiden. Hvor skjevt kameraet er plassert kan bestemmes ved å bruke posisjonen til hammeren rett etter at den er blitt sluppet og posisjonen hvor den lander. Disse punktene gjør det mulig å bestemme den sanne y-aksen, som er omtrent 4 grader fra y-aksen til kameraet. Målestokken er mer usikker, men informasjon tilgjengelig fra nettstedet sier at fallet var omtrent 1,6 m. Dette stemmer overens med den antatte høyden til astronauten, omtrent 2,0 m med hjelm, men er allikevel en kilde til usikkerhet.

Ved hjelp av videoanalyseprogrammet Tracker, ble posisjonene til både hammeren og fjæra av merket og registrert. Den nøyaktige posisjonen i hvert bilde kan være vanskelig å finne, og resultatet vil derfor variere noe. For å unngå bias, bør plottvinduet ikke være synlig når posisjonene blir markert. Det er nyttig å bla fram og tilbake mellom bildene for å skille hammeren og fjæra fra bakgrunnen. Fra posisjonsdataene får man fram en tilpasset kurve, med en andregradslikning som beskriver fallbevegelsen. Ved å identifisere akselerasjonen i likningen kan den bestemmes.

Bevegelsen for en gjenstand i fritt fall kan beskrives av

bevegelseslikningen:

$$y = y_0 + v_y t + \frac{1}{2} a t^2$$

Der  $y_0$  er høyden objektet slippes fra,  $v_y$  farten den har i startøyeblikket og  $a$  er akselerasjonen.

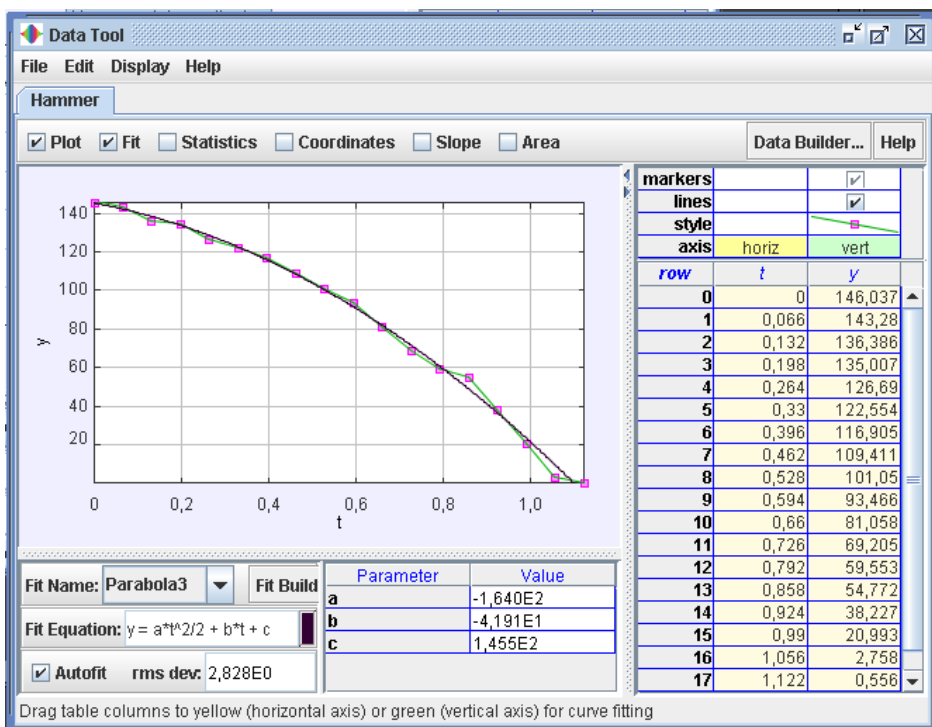
Ettersom vi ikke starter tiden på eksakt null får vi en startfart.

Etter å ha markert fallbevegelsen til hammeren fikk vi denne bevegelseslikningen: (figur 53).

$$y = 1.455 - 0,42 \cdot t - 1.64 \frac{t^2}{2}$$

Med andre ord en akselerasjon nå  $1.6 \text{ m/s}^2$  nedåt.





**Figur 53 Anpassning av bevegelsekurva till en ekvation som ger akselerasjonen (skalan ges i cm)**

Vi fikk akselerasjonen  $1,6(\pm 0,3)$  for fjæra og  $1,6(\pm 0,4)$   $\text{m/s}^2$  for hammeren ved å gjenta avmerkingen av bevegelsen flere ganger. Disse verdiene stemmer godt overens med den beregnede verdien  $1,6 \text{ m/s}^2$  og er tydelig forskjellig fra verdien på jorden. Grunnet vanskelighetene med å markere korrekte posisjoner kan det forventes verdier mellom  $1,3\text{-}2,2 \text{ m/s}^2$  for elever og andra som vill gjenta forsøket. Disse resultatene burde overbevise dem om at gravitasjonen er mindre på månen og at den stemmer overens med deres egne beregninger med Newtons gravitasjonslov. Resultatet er en sterk indikasjon på at månelandingen virkelig fant sted. Det er mulig å simulere lavere gravitasjon ved å redusere bildehastigheten på videoen. Ved å spille av Apollo 15-videoen raskere, vil de fallende objektene få samme akselerasjon som på jorda, men bevegelsene til astronautene vil bli unaturlige for en person i en romdrakt.

Bruk av videoanalyse er et billig alternativ for visse kinematikk eksperimenter, og alt som trengs er et standard webkamera for å registrere eksperimentet. Fordi mange videoer, som Apollo 15-videoen, er tilgjengelig på nettet, har man dessuten mulighet til å studere et rekke eksotiske situasjoner.

[1] [http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo\\_15\\_feather\\_drop.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html)

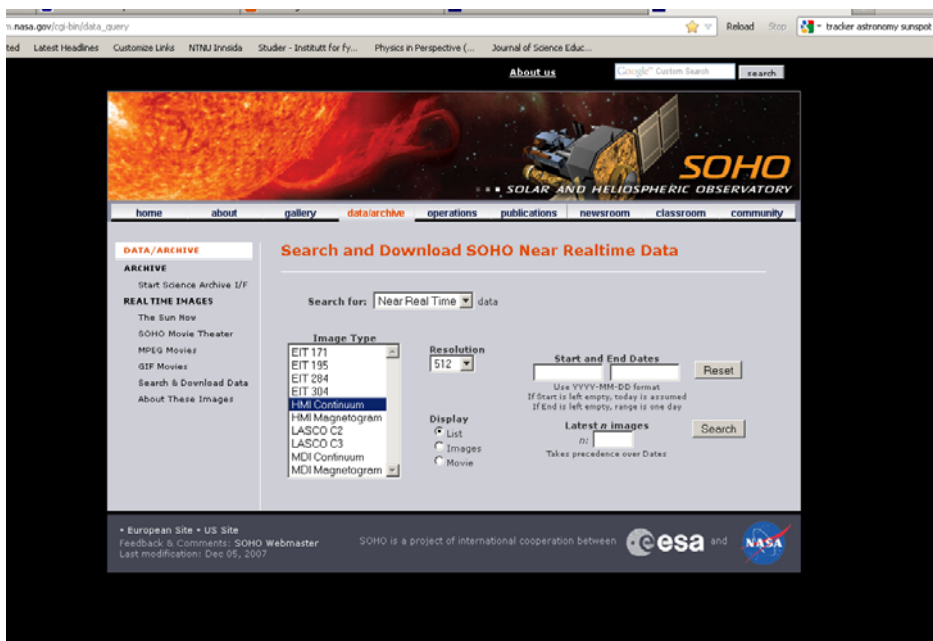
Detta avsnitt skrevs av J.E. Hagen<sup>1</sup> og J Persson

<sup>1</sup> Vardø videregående skole Kaigata 6, N-9950 VARDØ

## 7 Solfläckar – Solens Rotation

Att solen har sina fläckar och att vi kan titta på dem med hjälp av teleskop eller via bilder på webben vet många. Men det är faktiskt möjligt att få mer information än så. Genom att studera solfläckar så kan man visa att solen roterar och att rotationen är differentiell, dvs att den roterar olika fort beroende på vilken latitud man tittar på. (Man använder sig av samma latitud och longitud begrepp som man använder på Jorden.) Solfläckar uppstår i närheten av ekvatorn, typiskt mellan 30°N och 30° S. Man kan då studera en solfläck och se hur den förflyttar sig och därigenom bestämma Solens rotation för den latituden.

Det finns ett antal observatorier och satelliter dedicerade till att studera solen och den lämpligaste att hämta bilder för analys från är SOHO satelliten, som ligger i Lagrangepunkten L1, mellan Jorden och Solen. Bilderna från SOHO finns i ett öppet arkiv och kan lastas ner fritt. Bilderna som kan användas för denna övning finns på [http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data\\_query](http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query).



Figur 54 Nedlastningssidan för SOHO.

Gå till Search & Download Data: där du markerar HMI Continuum eller MDI Continuum och det antal bilder eller tidsperiod du vill titta på. Observera att HMI

Continium inte finns för alla tidpunkter. Välj Images eller List, resultatet visas då som bilder eller en lista, där det är möjligt att lasta ner samtliga i ett zip-arkiv.

Dessa bilder kan man sedan lasta in i Tracker. Detta kan göras på två sätt. Du kan göra det sekvensiellt, men för att göra detta måste bilderna tillhöra samma sekvens, dvs ha samma namn med en siffra i slutet, bild1, bild2, osv. Alla filerna måste då döpas om.

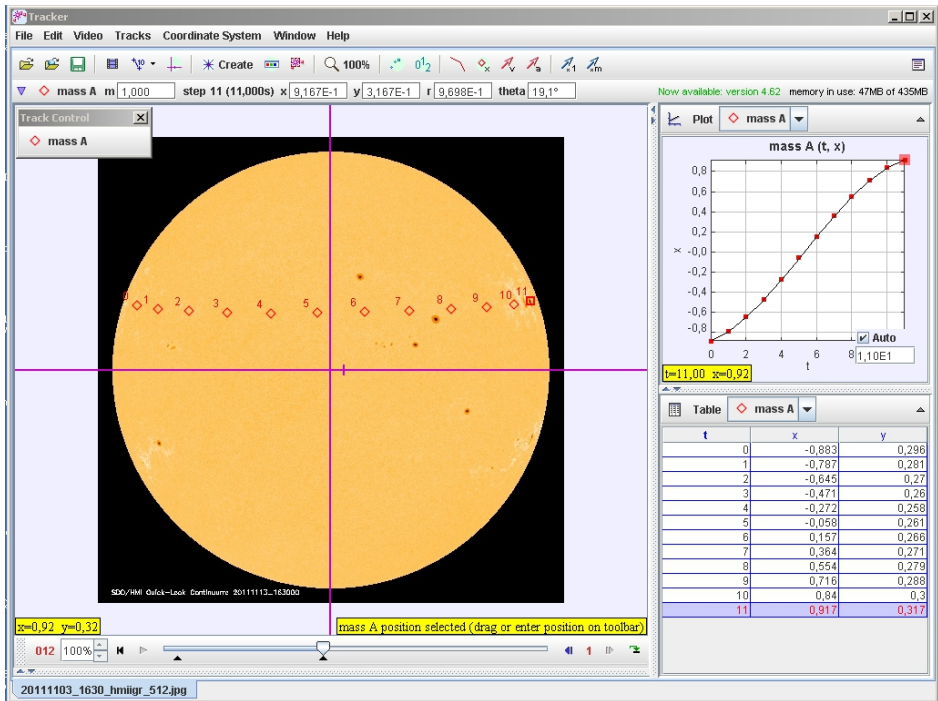
Du kan även importera bild för bild i Tracker, eller importera via drag-and-drop. Här måste man då vara observant på att vissa bilder inte importeras utan måste läggas till i efterhand genom import image.

Data från SOHO sparas ett antal gånger per dygn där HMI Continium data tas 16 gånger per dygn, det vill säga varje 1,5 timme. Nu behöver man egentligen inte 16 bilder per dygn utan man kan klara sig med betydligt färre. Om man väljer att spara 16 bilder per dygn rör det sig om runt 480 bilder på en månad, något som Tracker inte kan hantera. Det är då bättre att lasta in en bild per dygn. Har du lastat ner bilder till ett bibliotek kan du enklast välja ut de bilder du vill ha genom att använda ”sök” funktionen på datorn och då söka på en speciell tidpunkt (\_01630\_) och då få en lista med bilder tagna vid samma tidpunkt, dessa kan då markeras och importeras till Tracker via drag-and-drop eller import image.

Jag har skapat några filmer som ligger i ett videobibliotek, <http://www.plu.ntnu.no/skolelab/fysikk-animasjoner/Tracker/Videobibliotek.htm>, som är öppet för nedlastning. Dessa filmer består av en bild per dygn och omfattar 1 – 2 månader.

När man läst in bilderna i Tracker skall man genomgå den vanliga proceduren med längdskalan, koordinatsystem och tidsskalan. Koordinatsystemet väljs så att origo hamnar i centrum av solen. Längdskalan väljs så att solens radie får längden 1. dvs solens diameter skall vara 2. Tidsskalan beror på antalet bilder per dygn. Har du en bild per dygn väljer du skalan 1 sekund (=1 sekund mellan varje bild) men kom ihåg att en sekund då är ett dygn. Om du har 16 bilder per dygn sätter du tidsskalan till 1/16.

I Tracker markerar du nu den/om solfläckar du vill studera på vanligt sätt. Du får nu x- och y- koordinaterna i tabeller och/eller grafer.



Figur 55 Tracker med en solfläck markerad

För att bestämma latituden på solfläcken använder du dig av y-koordinaten :

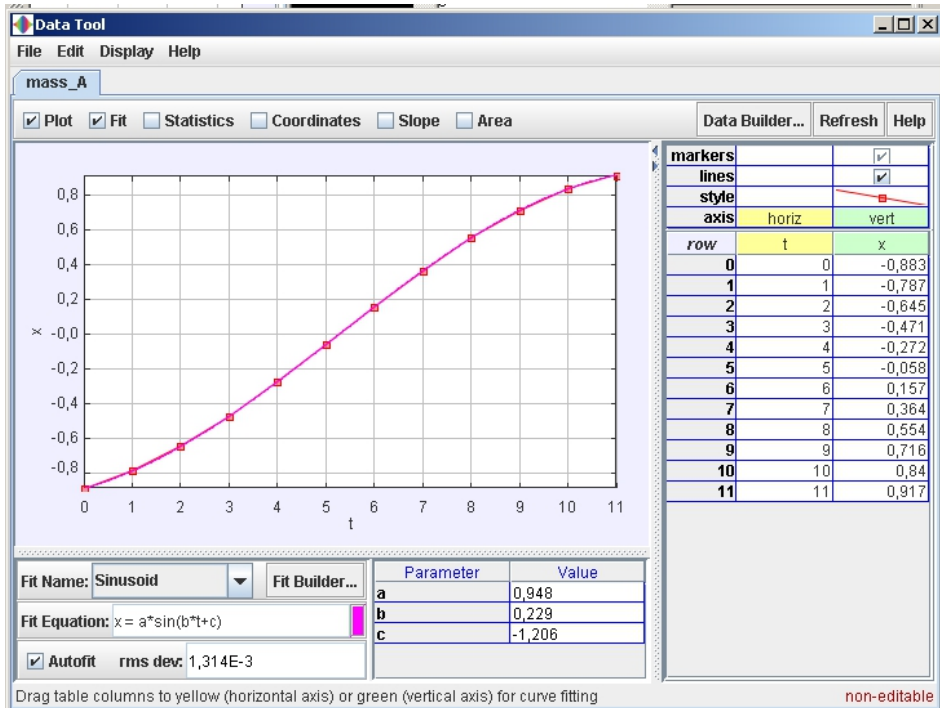
$$\sin \varphi = \frac{Y}{R}$$

Här kan du nu studera om latituden ändras eller om den håller sig konstant. För att få latituden i tabellen kan man använda Data Builder.

x-koordinaten kommer att variera med tiden och det skall vi använda för att bestämma rotationen. Studerar man grafen av x positionen så ser du en sinusliknande funktion. Gå till Analyze och använd ”sinusoidal” anpassning. x positionen kommer då att anpassas till ekvationen:  $x = a \sin(b \cdot t + c)$  där

parametern b motsvarar vinkelfrekvensen,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

Här kan det bli problem med anpassningen, vilket gör att jag rekommenderar att man själv lägger in startvärden på a och b som 1 respektive 0,25 och sedan klickar på refresh eller markerar autofit. Observera att parametern a skall ha ett värde på ca 1, stora värden visar att anpassningen har hittat fel minima. Man kan även variera värdena för att själv hitta en bättre anpassning.



**Figur 56 Anpassning till solfläckens position med en sinus-funktion**

Genom att ta parametern  $b$  kan du då bestämma rotationstiden, observera att perioden ges i dagar.

Genom att studera solfläckar på olika latituder kan man se att solen har en differentierad rotation. Solens rotation är vid ekvatorn 25.05 dagar och vid  $16^\circ$  latitude, 25.38 dagar, detta är den siderala rotation, dvs i förhållande till stjärnorna. Den man får fram från SOHO-data är den synodiska som måste korrigeras för att få den siderala rotationen.

$$\frac{1}{T_{sideral}} = \frac{1}{T_{synodisk}} + \frac{1}{T_{jord}}$$

Där  $T_{jord}$  är tiden det tar för jorden att gå ett varv runt solen.

I vårt exempel får vi solens rotationstid till 25,52 dagar, vid latituden ca:  $16^\circ$ .

## 8 Coefficient of restitution

I sportsammanhang är att dom bollar man använder beter sig på ett förväntat sätt. Detta innebär bland annat att dom skall studsas på ett kontrollerat sätt. Då en boll studsar kommer den att förlora en del av den kinetiska energin i kontakten med marken, detta sker genom att bollen deformeras och värms upp. Vi har en inelastisk stöt.

Om vi antar att studsens hela tiden sker mot ett stationärt objekt (ett golv) kommer vi att kunna relatera energiförlusten till farten som bollen har just före och efter studsens.

Coefficient of restitution (COR) har man definierat som kvoten mellan farten före och efter stöten:

$$C_R = \frac{v_{\text{efter}}}{v_{\text{före}}}$$

Vi kan också definiera den utifrån var man släpper bollen och hur högt den studsar:

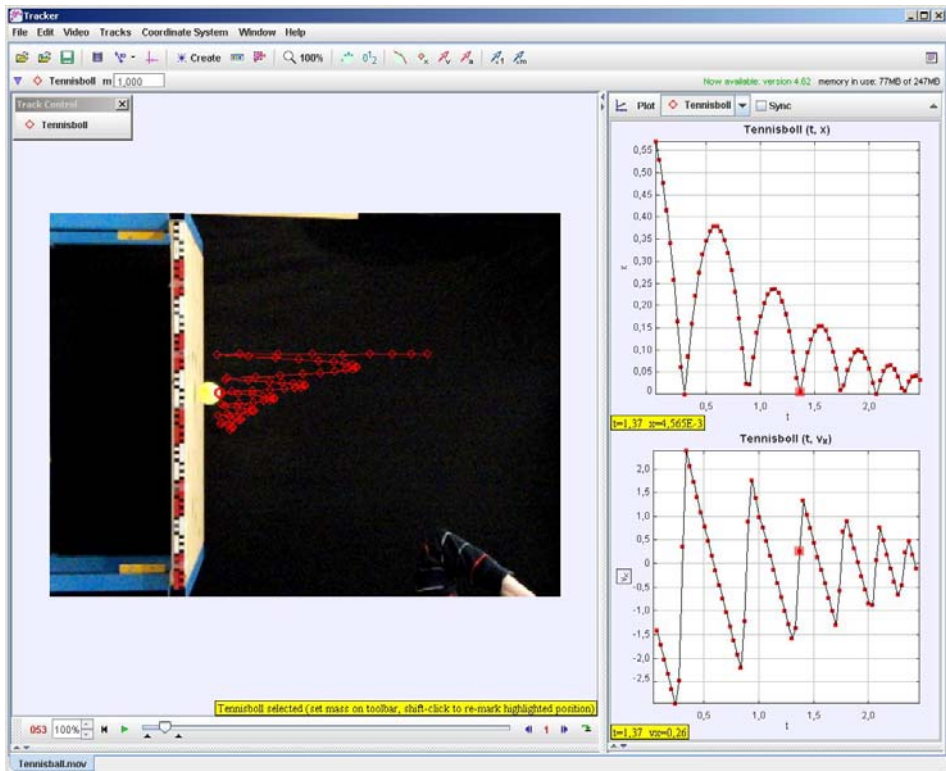
$$C_R = \sqrt{\frac{h_{\text{efter}}}{h_{\text{före}}}}$$

Coefficient of restitution används oftast i golfsammanhang där man eftersträvar att den skall vara så hög som möjligt. Man har dock satt en övre gräns på COR till 0,83, där ett typisk värde ligger runt 0,78.

Internationella bordtennisförbundet har bestämt att en bordtennis boll som släpps från 30,5 cm på standars stålblock skall studsas upp 24-26 cm, vilket motsvarar en COR på 0,89-0,92.

Det är relativt enkelt att själv genomföra detta experimentet, antingen med video eller med att spela in ljudet av studsens och analysera tidsintervallen. I detta fall skall vi visa hur man gör detta med video.

En boll släpps från en höjd och man filmar medan bollen genomgår ett antal studsar. Filmen kan sedan lastas in i Tracker och analyseras.



**Figur 57** Analys av studsande tennisboll

I figur 57 visas en tennisboll som släppts från en viss höjd. Då detta är en relativ mätning så spelar höjden inte någon roll. Även om vi släpper bollen i y-led så går det lika bra att analysera en liggande bild.

Det man måste tänka på om man skall analysera COR utgående från höjden på studsarna är att man måste lägga koordinatsystemet så att det lägsta läget ligger så nära noll som möjligt. Här kommer markeringspunkten att vara viktig. För kontrastens skull bör den ovre delen av bollen användas. I detta fall kommer man att få en stor accelerationsförändring vilket gör att Autotracker kan få problem med att objektet hamnar utanför sökområdet. För att undvika detta kan man antingen använda sig av ett stort rektangulärt sökområde, eller så utnyttjar man "Search Next" vilket gör att man kan flytta sökområdet om Autotracker inte hittar rätt och söka bildrutan igen med "Search This".

Från figur 57 ser vi båda metoderna som vi kan använda för att få fram COR, höjden i studsens eller farten före och efter. Det är viktigt att man tittar på ett antal



studsar och försök för att få ett så bra värde som möjligt. I försöket ovan fick jag ett värde på COR på 0,77.

Här kan man nu jämföra bollar från olika idrotter och se vilken COR som har på olika underlag.

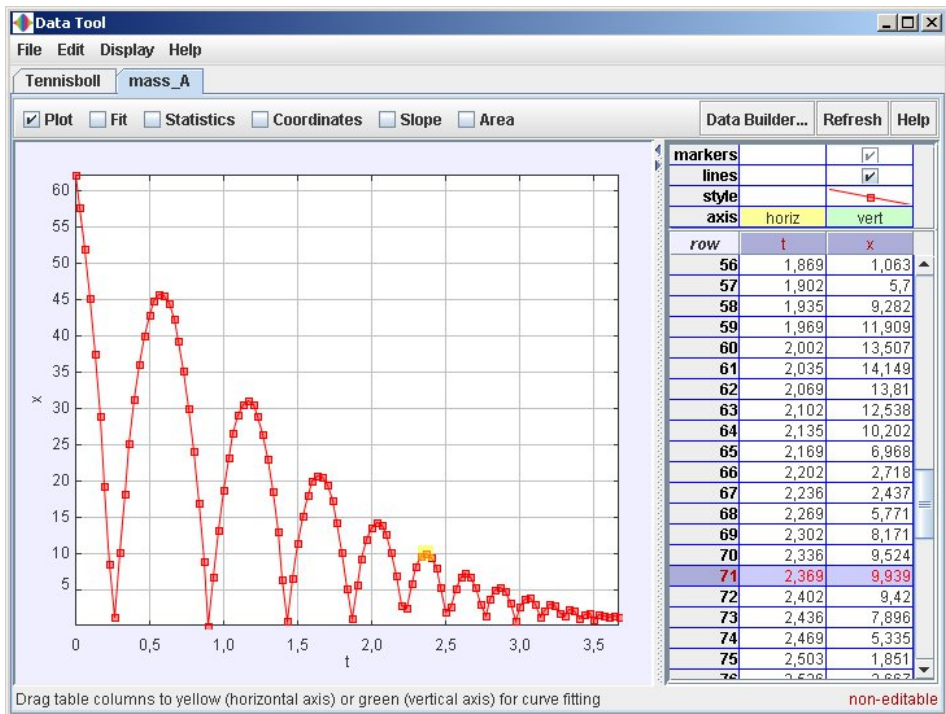
Man kan också utveckla försöket vidare och studera hur lufttrycket i olika bollar på verkar studsens och därför COR. Det finns enkla mätare som man kan använda för att mäta trycket i en boll.

Jag har spelat in ett antal video med olika bollar och lufttryck:

<http://www.plu.ntnu.no/skolelab/fysikk-animasjoner/Tracker/Videobibliotek.htm>

Men det är inga problem att själv spela in.

I ett av försöken använda jag mig av en handboll där jag varierade trycket från  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  –  $0.3 \text{ kg/cm}^2$ . Procedyren var den samma som med tennisbollen.



Figur 58 Resultat av handboll som släppts

I Figur 58 Resultat av handboll som släppts ser man hur högt bollen studsar och detta kan användas för att bestämma COR. Genom att studera detta för olika tryck ser man tydligt att en boll med högt tryck studsar bättre.

Tryck (kg/cm <sup>2</sup> )	COR
0.60	0,827
0.45	0,801
0.30	0,783

Här kan man prova olika bollar och underlag för att se vad som är bäst. Genom att koppla fysiken till olika idrotter får man då en möjlighet att visa att det ligger ganska mycket utveckling av bollar inom olika idrotter.

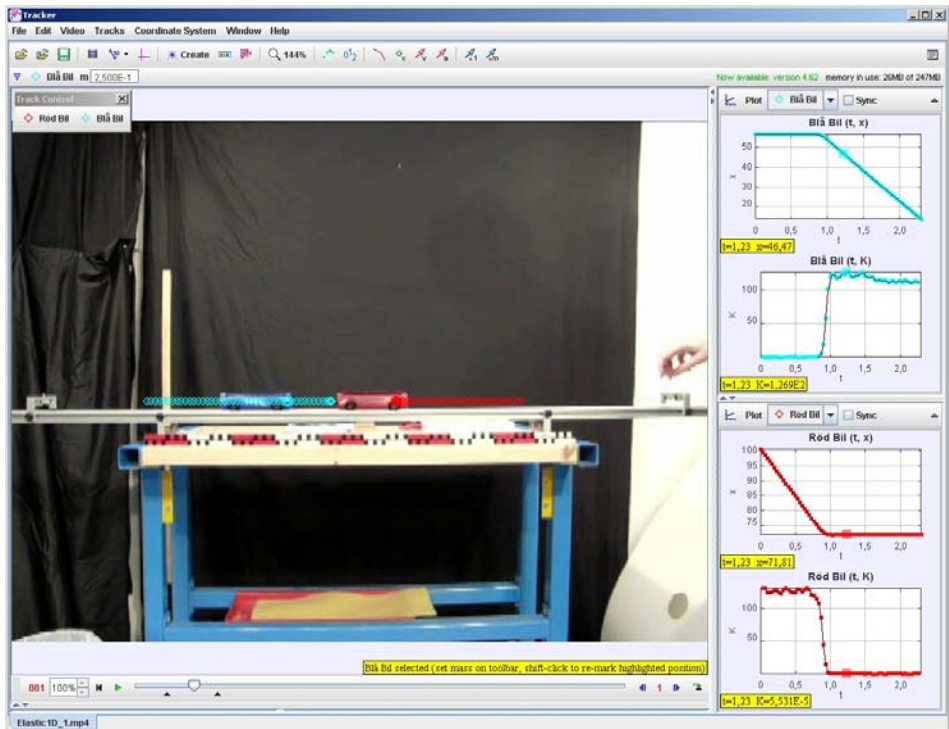
## 9 Kollisioner

De experiment som videoanalys är speciellt lämpliga för är kollisioner med två eller flera partiklar samtidigt. I och med att mätningarna görs passivt, behöver man inte en aktiv mätning som om man har flera objekt kan interferera med varandra och ge felaktiga resultat. Vi är dock begränsade till mätningar i två dimensioner med en kamera, men genom olika konfigurationer med två eller flera kameror är det möjligt att få en tre dimensionell mätning.

Det enklaste kollisionförsöket man kan göra är mellan två vagnar på en bana med låg friktion. Proceduren med Tracker är att spela in en video och lasta in den. Kalibrering och markering på samma sätt som visats tidigare.

Här är det viktigt att man har en unik markering på varje vagn för att underlätta markeringen, speciellt om man använder Autotracker. Här kan man få stora förändringar i rörelsen som gör att objektet hamnar utanför sökområdet, så var försiktig med att använda Autotracker.

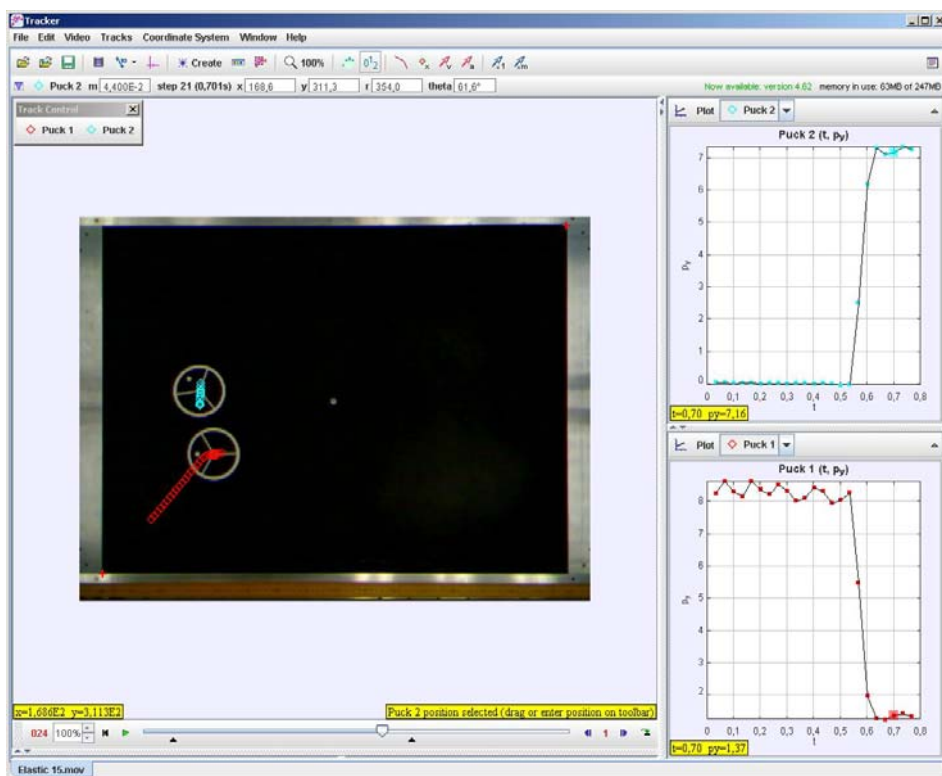
När markeringen är gjord kan man visa positionen som funktion av tid, men även rörelseenergin och rörelsemängden om man har specificerat massan. Det vill säga man får direkt en jämförelse av dessa före och efter kollisionen. Detta visas i figur 59. Då detta inte är en friktionsfri bana kommer det finnas små förluster som är speciellt tydliga för låga hastigheter. Detta gör att man inte alltid kommer att bevara rörelseenergin i kollisionen, något som visas i figur 59, där rörelseenergin före kollisionen är 1,27 J (längdskalan är i cm) och 1,17 J efter. Detta påverkar även rörelsemängden.



Figur 59 Kollision i en dimension. Energi och position som funktion visas i graferna

Men vi kan även göra experiment i två dimensioner, om vi har ett luftkuddebord (eller video tagna av ett). Här kommer man då verkligen kunna utnyttja möjligheterna med video analys. Med massan specificerad kan vi bestämma rörelsemängden i alla komponenterna liksom rörelseenergin. Detta ger en unik möjlighet att verkligen själv se att rörelsemängden bevaras inom varje komponent, något som många elever har problem med i beräkningar. Genom att dom här kan se det med egna ögon kan man visa hur komponent uppdelning skall göras.

Figur 60 visar en kollision mellan två puckar på ett luftkuddebord. Trots att detta skall vara friktionsfritt kan det finnas en liten friktion kvar som blir märkbar vid låga hastigheter vilket ger ett fel, dessutom måste bordet vara mycket noga justerat. Det finns dessutom en ytterligare felkälla i luftströmmar som kan öka/minska hastigheten på puckarna.



**Figur 60** Kollision i två dimensioner. Grafer med rörelsemängden i y-led

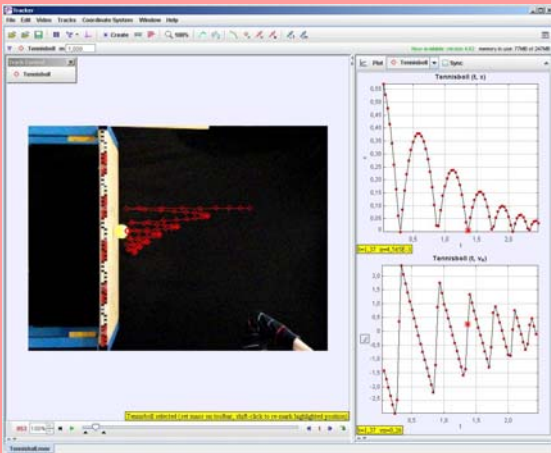
Det finns ett antal videor inspelade med kollisioner på:

<http://www.plu.ntnu.no/skolelab/fysikk-animasjoner/Tracker/Videobibliotek.htm>

En finess som bör nämnas är att man kan definiera ett Track som tittar på masscentrum för ett system, som består av två eller flera objekt. Detta ger en möjlighet att titta på hur denna rör sig i en kollision.







Häftet beskriver hur man kan använda videoanalys som ett redskap i fysikundervisningen. Genom att använda "Open Source" programmet Tracker kan man genomföra ett antal olika experiment och modelleringar som inte är möjliga med normal laborieutrustning. Här ges en genomgång i att använda programmet med dess olika finesser. Det ges exempel på olika aktiviteter som kan utföra i eller utanför klassrummet. Exempel på aktiviteter är Analys och modellering av luftmotstånd, bestämning av solens rotation med hjälp av analys av solfläckar., Bestämning av tyngdaccelerationen på månen och så vidare. Det finns många möjligheter till att utveckla nya övningsuppgifter för elever. Uppgifterna är speciellt riktade mot fysik i vgs, men kan även användas i ungdomsskolen och/eller i andra fag..

Førsteamanuensis Jonas Persson  
Institutt for Fysikk, NTNU.



Trondheim

## Program for lærerutdanning

**Skolelaboriet**  
for matematikk, naturfag og  
teknologi

Tlf: 73 55 11 43

Fax: 73 55 11 40

<http://www.skolelab.ntnu.no>

Skolelaboriet har som oppgave å drive forsknings- og utviklingsarbeid rettet mot undervisning i realfag og teknologi i skolen. Gjennom SLserien vil PLU og Skolelaboriet publisere resultatene av dette arbeidet.

ISBN 978-82-7923-061-8  
ISSN 1503-9242