

# CT i fysik

## Eksempel: Luftmodstand

Michael Jenner,  
HEG, Aars

# Luftmodstand – Overordnet om CT aktiviteten

- **Udviklet til** gymnasieelever der har fysik svarende til Fysik B htx.
- Kan stilladseres til 9. / 10. klasse og brobyggere. Man kan selv vælge hvor teoretisk gennemgangen skal være.
- **Formål:**
  - At styrke elevers forståelse af fænomenet luftmodstand gennem CT aktivitet.
  - Aktualitets-eksempel: Vigtig parameter for elbilers rækkevidde.
- **Arbejdsformer:**
  - Par eller gruppearbejde (elever behøver blot en computer).

# Fysik

- En central metode i fysik er at udtænke modeller af omverdenen.
- En model er per definition en simplificering af en virkelig situation.
- Faktisk kan fysikere ikke regne på noget overhovedet, uden at simplificere situationen.

# Fysik

- En vigtig rolle som modeller kan spille,
- udtrykkes af David Scherer, pensioneret fysik-professor fra University of California, Santa Cruz (UCSC):
- "Models are an essential tool for physicists and engineers, but they are also critical for students learning about physics."

Through models, students can explore complex physical phenomena and develop a deeper understanding of the underlying concepts."

# Fysik

- Luftmodstand på HTX, Fysik B:

$$F_{luft} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

- Hvor
- $c_w$  er proportionalitetskonstant, i kender den fra bilers  $c_w$  værdi.
- $\rho$  er densitet af luften,
- $A$  tværsnitsareal og
- $v$  er hastighed.
- Modellen er ofte brugbar, men den giver ikke en intuitiv forståelse for de fænomener der ligger bag.



# Fysik – Bevægelsesligninger 1g

- Mest avancerede bevægelse i Fysik B htx: **Konstant acceleration:**

$$a = \textit{konstant}$$

$$v = a \cdot t + v_0$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot (s - s_0)$$

- Man kan finde situationer hvor ovenstående model passer godt.
- Men man kan sagtens finde eksempler hvor de ikke virker ... Luftmodstand.

# Bevægelser i den virkelige verden

- Bevægelser er i virkeligheden kun sjældent "simple".

- Kan vi simulere mere spændende bevægelser?

$\Delta$  delta = ændring

- Ja, ud fra grunddefinitionerne:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{og} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- Kan vi opstille Euler-Cromers tilnærmede simuleringsligninger:

$$v = v_1 + a \cdot \Delta t$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

- Simulering foretages ved at foretage "små" tidsstep,  $\Delta t$  og derved trinvist at beregne næste hastighed  $v$  og næste position  $s$ .

# Bevægelser i den virkelige verden

- Hvordan skaffer vi accelerationen  $a$  i bevægelsesformlerne?

$$v = v_1 + a \cdot \Delta t$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

- I et frit fald i Jordens tyngdefelt er  $a = g = 9,82 \frac{m}{s^2}$

$$v = v_1 + g \cdot \Delta t$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$



# Bevægelser i den virkelige verden

- Hvordan skaffer vi os  $a$  i bevægelsesformlerne?

$$v = v_1 + g \cdot \Delta t$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

- Tab af bevægelsesmængde, ved kollision med molekyler (luftmodstand), giver hastighedstab på  $\approx n \cdot \frac{m_M}{m_O} \cdot k$

$$v = v_1 + g \cdot \Delta t - n \cdot \frac{m_M}{m_O} \cdot k$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

Sidste led i  $v =$  indses ved anvendelse af bevægelsesmængde-bevarelses sætning.

# Bevægelser i den virkelige verden

- Vi har nu en model for bevægelsen:

$$v = v_1 + g \cdot \Delta t - n \cdot \frac{m_M}{m_O} \cdot k$$

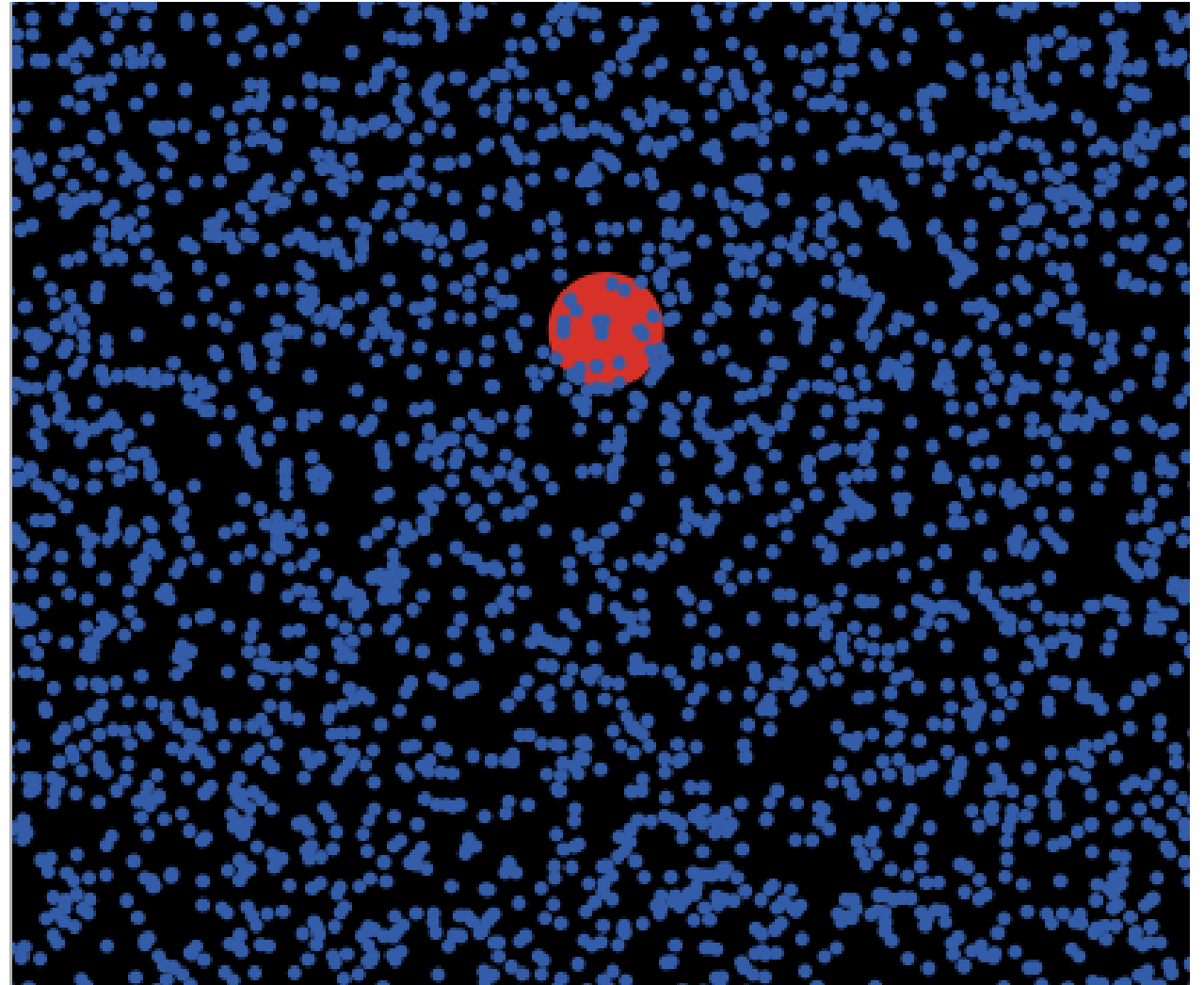
- Hvor

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

- $g = 9,82 \frac{m}{s^2}$ ,
- $n$  er antal små objekter der kollideres med i tidsrummet  $\Delta t$ ,
- $m_M$  er massen af et af de små objekter,
- $m_O$  er massen af det store objekt og
- $k$  er en justeringsfaktor så "det hele går op".

# NetLogo simulering

- Agent-baseret simulering.
- Hver "ting" er et selvstændigt objekt.
- Ved at give "simple" spilleregler kan relativt komplekse fænomener simuleres.
- Vi anvender to agent-typer:
  - Faldende objekt (**objects**, rød)
  - "Luft" molekyler (**airmols**, blå)

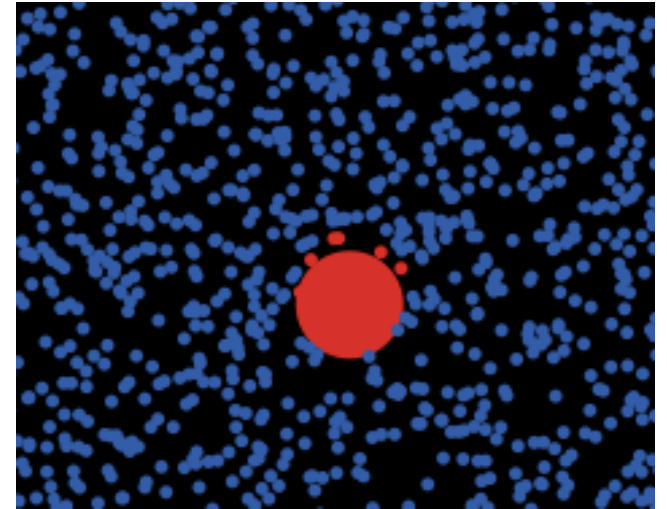


```
;; Definer agent-typer:  
breed [objects object]  
breed [airmols airmol]
```

# NetLogo simulering

- Oprettelse af agenter:
- 1 objekt der falder = "objects".
- Kan sætte forskellige egenskaber ved objekter: form, størrelse, farve mm.

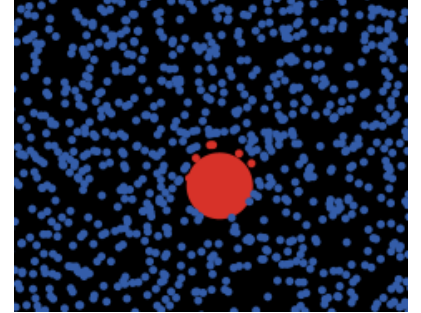
```
create-objects 1 [  
  setxy 0 18  
  set shape "circle"  
  set heading 180  
  set size dA  
  set color red  
  set vu 0  
  set v 0  
  set num-cols 0  
]
```



- 5000 objekter simulerer  
luft "molekyler" = "airmols"

```
create-airmols 5000 [  
  setxy random-xcor random-ycor  
  set color blue  
  set size 0.5  
  set heat 0  
]
```

# NetLogo simulering



- Simuleringsmetode:
- Variabel "num-cols" tæller antal luftpartikler som objekt kolliderede med, siden sidste step i tid.

```
;; bed objekt om ...  
ask objects [  
  ;; tæl nye molekyler der kollideres med:  
  let near-molecules airmols in-cone (dA / 2) 360
```

- Trick: kun "nye" luftpartikler tælles med, ved at gamle farves røde – et stykke tid. Detaljer kan ses i NetLogo fil.

# NetLogo simulering

- Flytning af objekt sker med "fd (tal)" kommandoen, "fd = forward", men først beregnes hastighed. .

```
;; flyt objekt:  
set v (v + g * dt - num-cols * mB / mA * k)  
fd (v * dt * skala)
```

- Bemærk sammenhængen til teoretisk udledt bevægelsesligninger:

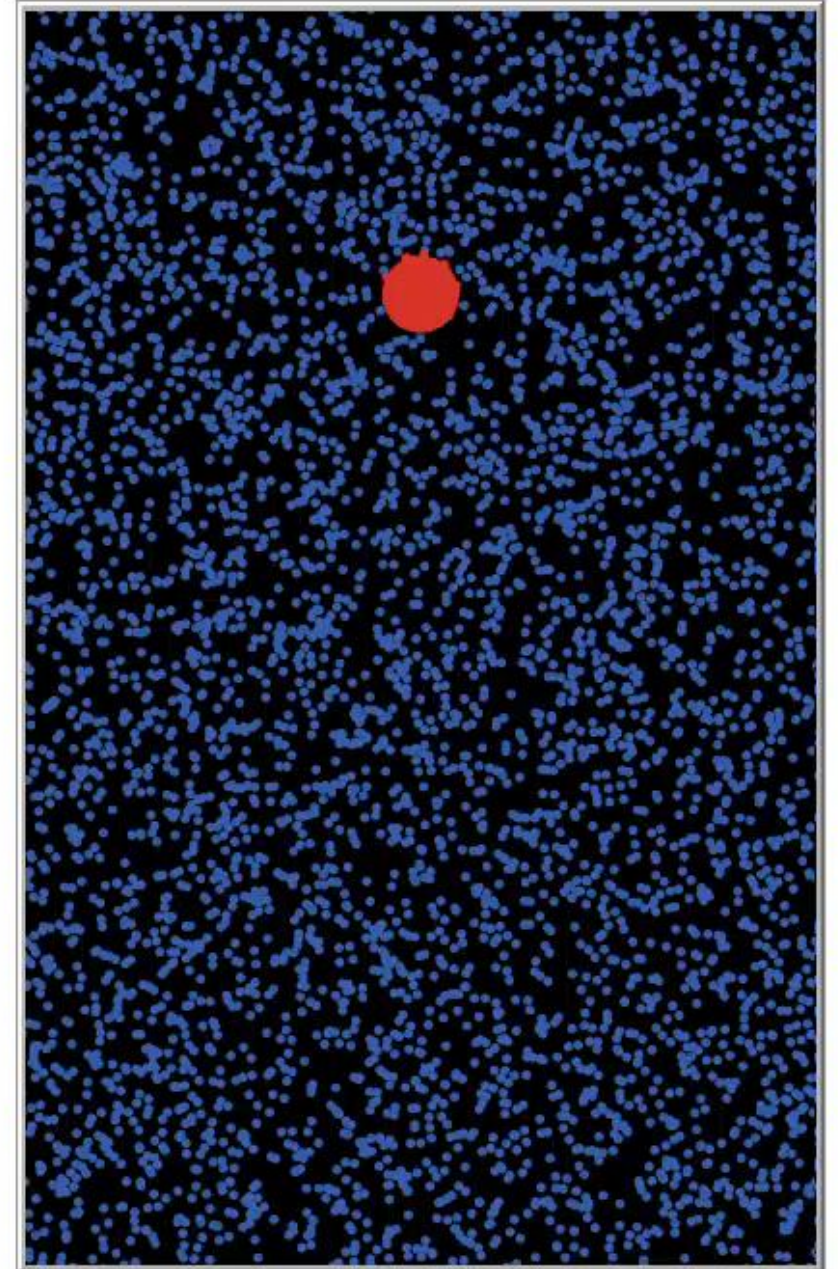
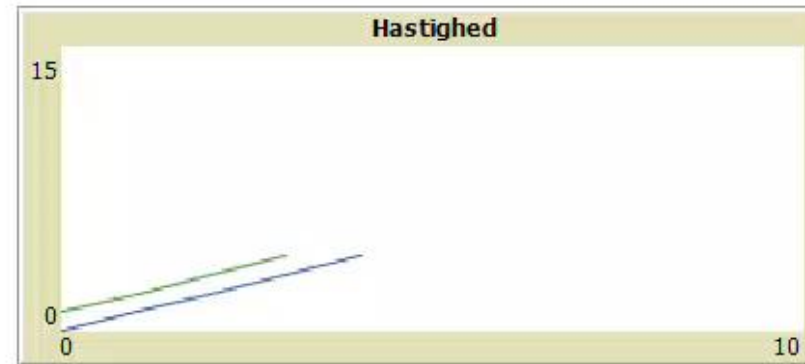
$$v = v_1 + g \cdot \Delta t - n \cdot \frac{m_M}{m_O} \cdot k$$

$$s = s_1 + v \cdot \Delta t$$

- Skala er blot til justering af "verden / xy plotområdet".

# NetLogo

- Første simulering
- Observationer?
- Hastighedsgraf?
- Kan man se at modellen er en simplificering?
- Hvad nu hvis ... ?





# NetLogo simulering

- Note: Data brugt i første simulering.

```
to setup
  clear-all
  set dt 0.1
  set g 9.82
  set mA 100
  set dA 4
  set mB 0.005
  set k 8000
  set skala 0.05
  set maxv 10
  set-default-shape turtles "circle"

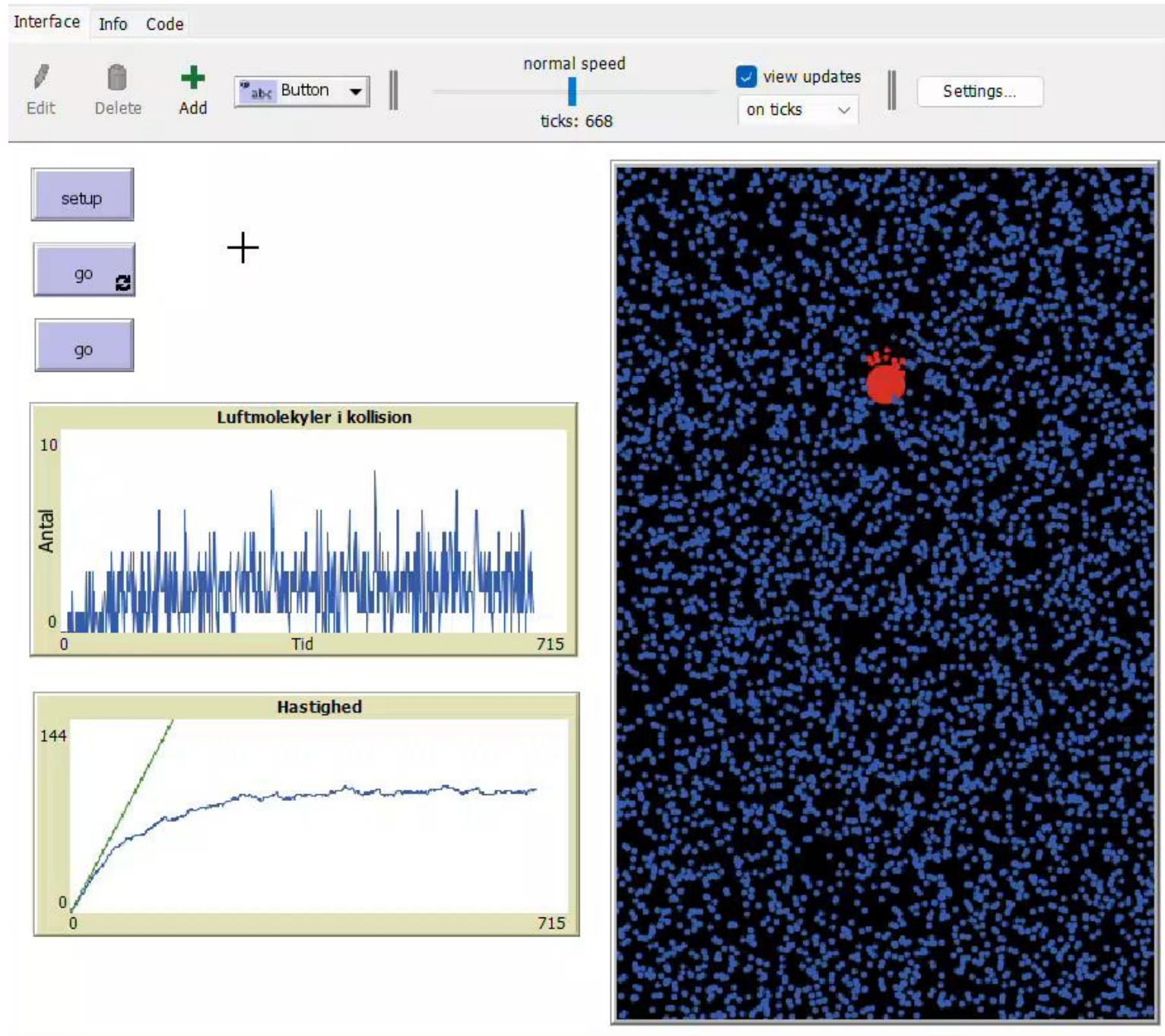
  create-objects 1 [
    setxy 0 18
    set shape "circle"
    set heading 180
    set size dA
    set color red
    set vu 0
    set v 0
    set num-cols 0
  ]

  create-airmols 5000 [
    ;; setxy random-xcor (0.5 * random-pycor - 0.5 * max-pycor)
    setxy random-xcor random-pycor
    set color blue
    set size 0.5
    set heat 0
  ]
end
```



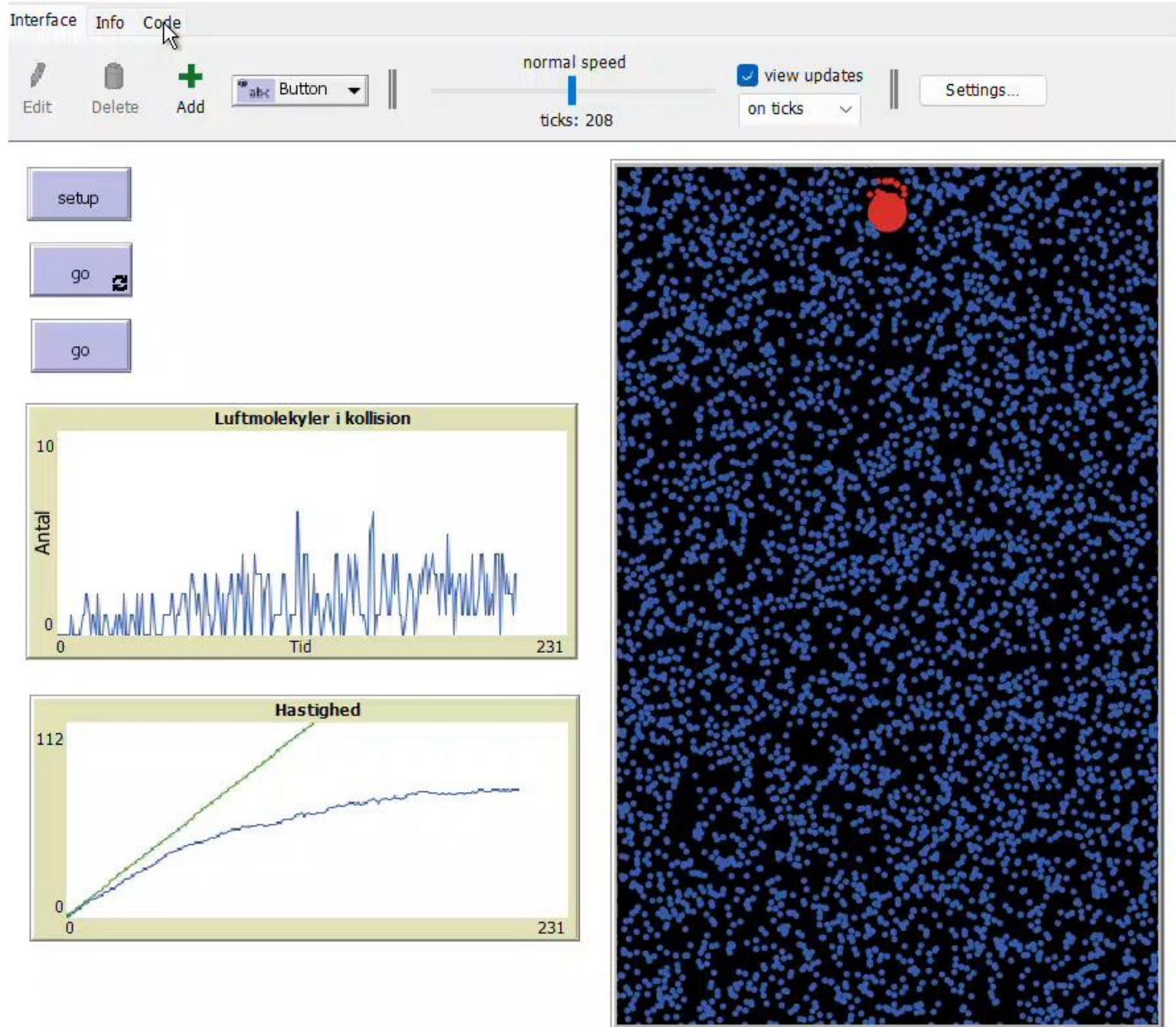
# NetLogo

- Diameter af objekt ændres fra 4 til 3 (enheder) ?



# NetLogo

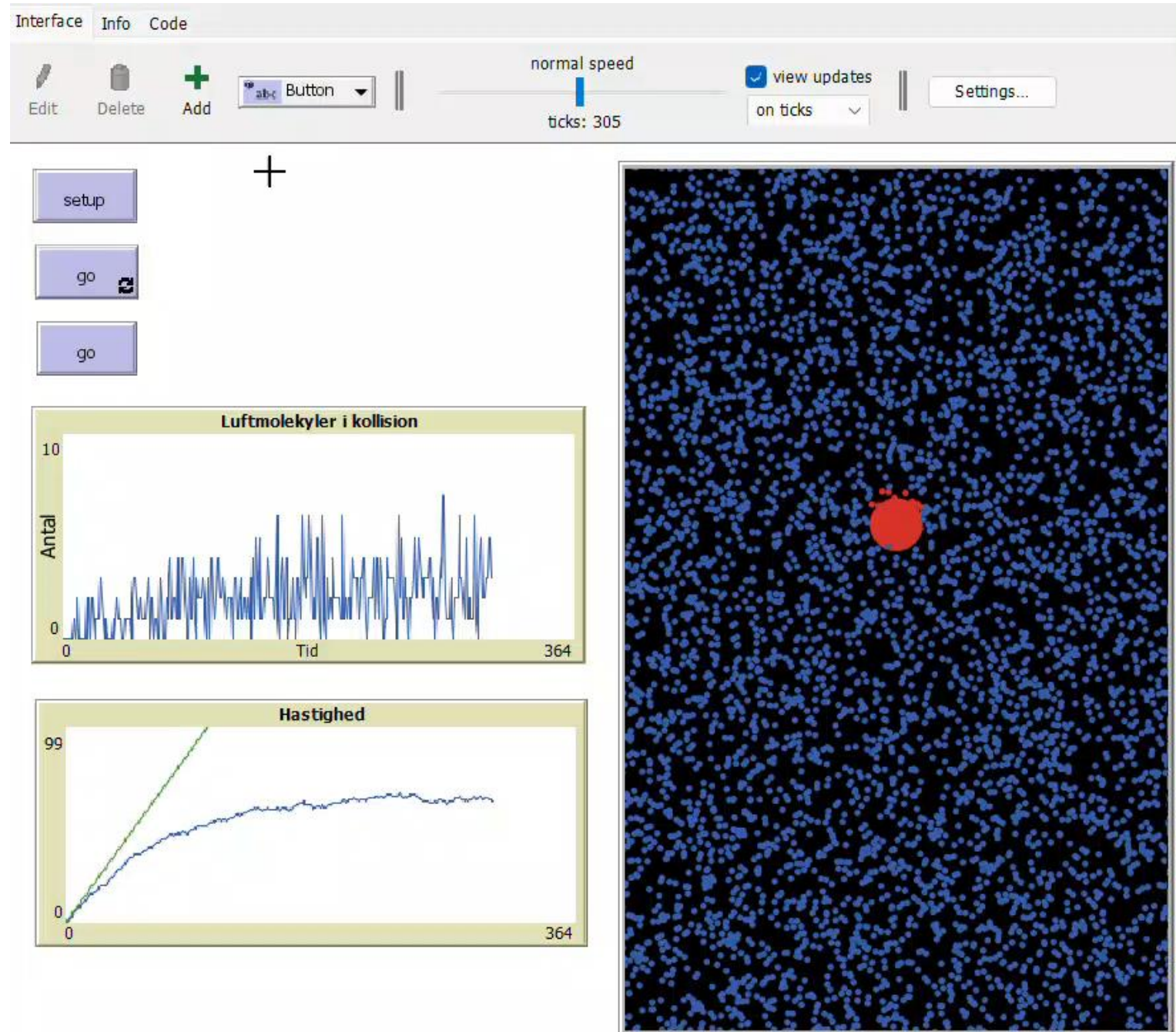
- Diameter tilbage til 4 enheder.
- Massen af luft-  
"partikel" fra 0,005 til  
0,002 enheder.





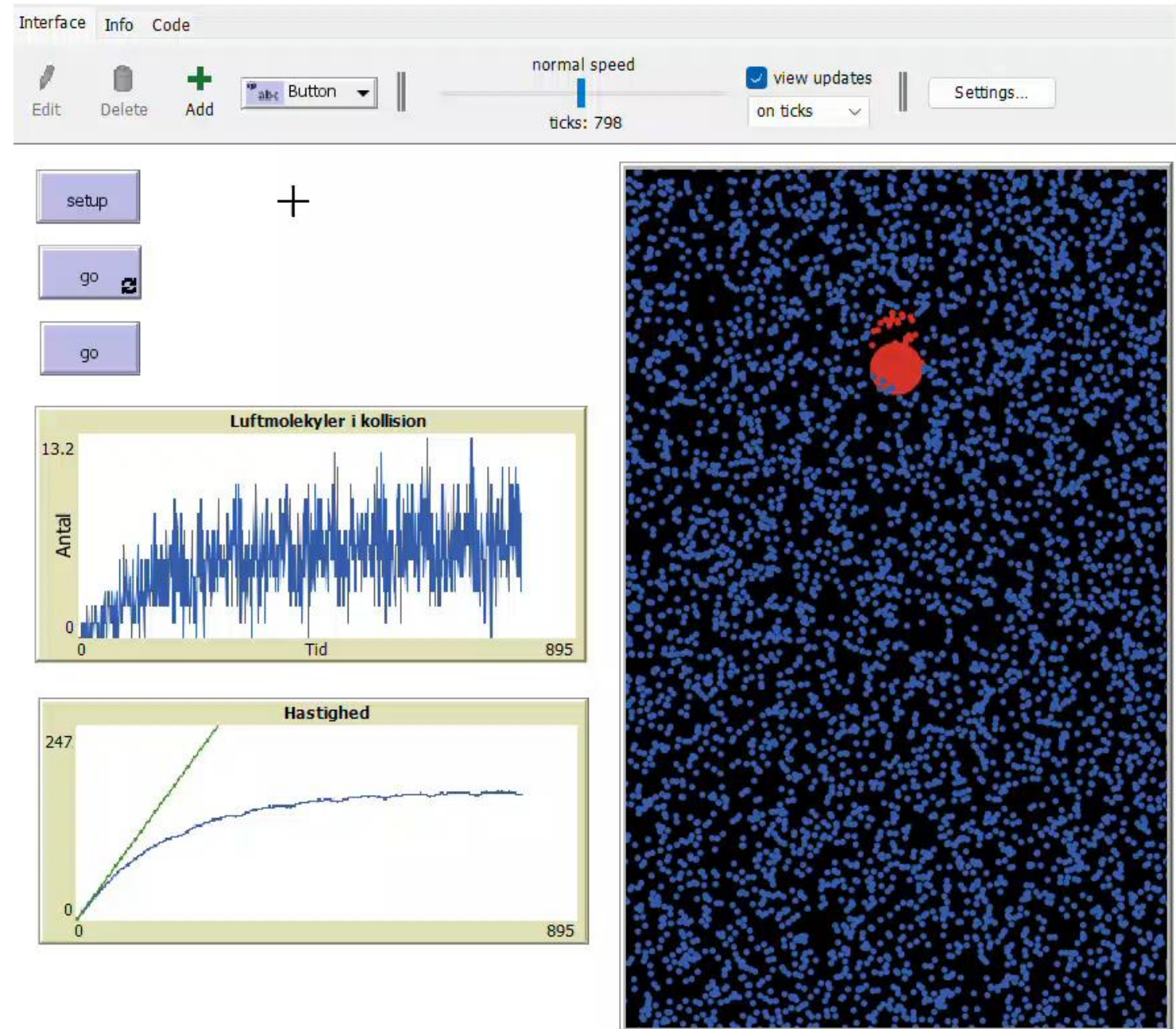
# NetLogo

- Diameter tilbage til 4 enheder.
- Massen af luft-  
"partikel" tilbage til 0,005.
- Massen af det faldende objekt ændres fra 100 kg til 200 kg.



# NetLogo

- "Luftpartikel" masse tilbage til 0,005 enheder.
- Bevægelse fra lufttomt område til luftfyldt område (f.eks. Satellit der rammer Jordens atmosfære)
- Giver avanceret hastighedsgraf: fortolkning af udseende.



# Simulering versus formel

- Vi har nu indirekte afprøvet luftmodstandsformlen

# Simulering versus Formel

- Vi har nu indirekte afprøvet størstedelen af formlen

$$F_{luft} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

~ Massen af  
luftmolekyler

~ Faldende kugles  
diameter

~ Massen af  
faldende objekt



~ betyder: har vi ændret via parametren ...

- Og vi har gjort mere ... simuleret satellit som rammer atmosfæren.



# Luftmodstand – Opfyldes CT kriterier

- Skal indeholde modellering (f.eks. Rutediagram, dataanalyse, algoritmisk tænkning, simulering).
- Ja, simulering af fænomen i NetLogo.
- Kan indeholde kodning (f.eks. Programmering).
- Ja, NetLogo justeringer.
- Skal indeholde variable, der kan identificeres, ændres, tilføjes e.lign. (nedbrydning).
- Ja, Masse, diameter af både objekt og luft.

# Luftmodstand – Opfyldes CT kriterier

- Skal omfatte fremstilling af et produkt (f.eks. kode, evt. blot modify).
- Ja, NetLogo justeringer.
- Skal omfatte vurdering af det fremstillede produkt (f.eks. af nøjagtighed og begrænsning).
- Ja, vi er begrænset til lille antal luft-molekyler, hastigheden er ikke så jævn som i virkeligheden.
- En anden begrænsning i modellen som eleverne måske opdager når de slippes fri er ...



# Andre fysik simuleringer

- Phet Colorado
- <https://phet.colorado.edu/da/simulations/filter?type=html,prototype>
- Eric Neumann
- <https://www.myphysicslab.com/>