

Numerieke exactheid en epistemologische onzekerheid

Een filosofisch-semiotische analyse van de herdefinitie van de kilogram

René Oudeweg

December 29, 2025

Abstract

De herdefinitie van de kilogram in 2019, waarbij de eenheid van massa werd vastgelegd via een exacte waarde van de Planck-constante, wordt algemeen gepresenteerd als een culminatiepunt van moderne metrologie. Deze bijdrage betoogt dat deze transitie weliswaar technisch succesvol is, maar tegelijkertijd een fundamentele epistemologische verschuiving introduceert. Door de afhankelijkheid van de kilogram van de seconde — en daarmee van de hyperfijnstructuurovergang van het cesium-133-isotoop — verliest massa haar status als primair fysisch referentiepunt en wordt zij een afgeleide grootte binnen een formeel tekensysteem. De bijdrage analyseert deze verschuiving vanuit een filosofisch-semiotisch perspectief en stelt dat numerieke exactheid in het SI-stelsel functioneert als institutioneel sluitmechanisme dat epistemologische onzekerheid maskeert in plaats van opheft.

1. Inleiding

Met de herdefinitie van het Internationale Stelsel van Eenheden (SI) in 2019 werd de kilogram losgekoppeld van haar materiële referent — het internationale prototype van de kilogram — en opnieuw gedefinieerd via een

exact vastgelegde waarde van de Planck-constante (h). Deze wijziging wordt doorgaans geïnterpreteerd als een noodzakelijke en positieve stap richting grotere stabiliteit en reproduceerbaarheid van metingen.

Hoewel deze interpretatie technisch correct is, blijft zij filosofisch onvolledig. De herdefinitie impliceert een verschuiving van betekenis: massa wordt niet langer direct gerefereerd aan een fysiek object, maar afgeleid uit een netwerk van formele definities en constante relaties. Dit artikel onderzoekt de gevolgen van deze verschuiving voor de epistemologische status van de kilogram en stelt dat zij wijst op een structureel spanningsveld binnen het moderne SI-stelsel.

2. Van artefact naar constante: een metrologische transitie

Het internationale prototype van de kilogram functioneerde meer dan een eeuw als materieel referentiepunt voor massa. De vastgestelde massadrift van dit artefact ondermijnde echter de pretentie van absolute stabiliteit en maakte de kwetsbaarheid van object-gebaseerde definities zichtbaar.

De keuze om de kilogram te herdefiniëren via een natuurconstante vormt een antwoord op deze problematiek. De Planck-constante werd vastgelegd met een exacte numerieke waarde, gebaseerd op een internationaal gecoördineerd geheel van hoogprecisiemetingen. Cruciaal is echter dat deze exactheid definitorsch is: zij is het resultaat van institutionele besluitvorming en niet van een empirische vaststelling met nul onzekerheid.

3. De definitieketen: massa als temporele afleiding

Hoewel de kilogram formeel via h wordt gedefinieerd, is haar realisatie onlosmakelijk verbonden met de definitie van de seconde. De seconde is op haar beurt vastgelegd als een exact aantal perioden van elektromagnetische straling afkomstig van de hyperfijnstructuurovergang van het cesium-133-isotoop.

Deze structuur impliceert een hiërarchische afhankelijkheid: massa $\rightarrow$ energie $\rightarrow$ tijd $\rightarrow$ cesium-133.

Massa wordt daarmee epistemologisch secundair aan tijd. Zij kan slechts worden gerealiseerd via temporele telling, hetgeen een fundamentele verschuiving betekent ten opzichte van klassieke opvattingen waarin massa als een primaire eigenschap van materie werd beschouwd.

4. Cesium-133 en de problematiek van contingente fundamenteen

De keuze voor cesium-133 als basis voor de definitie van de seconde is ingegeven door pragmatische overwegingen: stabiliteit, reproduceerbaarheid en technologische toegankelijkheid. Deze keuze is echter historisch en contingente van aard. Er bestaat geen fysische noodzakelijkheid die cesium-133 exclusief geschikt maakt als temporeel fundament.

Door deze keuze te fixeren in een exacte definitie krijgt zij een normatieve status die haar contingentie verhuult. Vanuit semiotisch perspectief fungeert cesium-133 als een teken dat wordt gepresenteerd als natuurlijk fundament, terwijl het in werkelijkheid een gestabiliseerde conventie is.

5. Numerieke exactheid als institutioneel sluitmechanisme

Het moderne SI-stelsel onderscheidt zich door het vastleggen van meerdere fundamentele constanten als exact. Deze strategie wordt vaak opgevat als het elimineren van meetonzekerheid. In epistemologisch opzicht vindt echter geen eliminatie plaats, maar een verplaatsing.

De onzekerheid verschuift van de constante naar:

- de experimentele realisatie,
- de interpretatie van meetprocedures,
- en de institutionele consensus die deze procedures legitimeert.

Numerieke exactheid fungeert daarmee als een sluitmechanisme dat verdere fundamentele vraagstelling ontmoedigt, zonder de onderliggende epistemologische contingentie op te heffen.

6. Massa, betekenis en semiotische afleiding

Door haar afleiding uit tijd en institutioneel vastgelegde constanten verliest massa haar status als primair betekenisdragend fysisch begrip. Zij wordt een knooppunt binnen een formeel systeem van tekens, waarin betekenis niet voortvloeit uit directe ervaring of materiële referentie, maar uit interne consistentie.

Deze ontwikkeling roept de vraag op of het begrip massa nog kan functioneren als fundamenteel natuurkundig concept, of dat het is gereduceerd tot een operationele parameter binnen een gesloten formeel systeem.

7. Institutionele consensus en epistemologische autoriteit

De vastlegging van fundamentele constanten via internationale stemprocedures is noodzakelijk voor wereldwijde standaardisatie. Tegelijkertijd introduceert deze praktijk een vorm van epistemologische autoriteit die de grens tussen empirische kennis en conventionele vastlegging vervaagt.

De autoriteit van het SI-stelsel berust niet langer primair op empirische verificatie, maar op institutionele legitimatie. Dit verschuift het epistemische gewicht van natuurkundige noodzaak naar consensusgedreven stabiliteit.

8. Conclusies

De herdefinitie van de kilogram vormt een technisch succesvolle oplossing voor reële metrologische problemen, maar introduceert een diepere epistemologische spanning. Door de afhankelijkheid van de kilogram van tijd en van het cesium-133-isotoop wordt massa een afgeleide grootheid binnen een formeel tekensysteem, waarvan de zekerheid berust op numerieke fixatie en institutionele consensus.

Deze analyse impliceert niet dat het moderne SI-stelsel faalt, maar wel dat numerieke exactheid niet gelijkgesteld mag worden aan fundamentele zekerheid. De kilogram fungeert aldus als symptoom van een bredere verschuiving in de natuurwetenschappen, waarin betekenis steeds vaker wordt gegarandeerd door formele sluiting in plaats van door directe materiële referentie.