

# A Common Currency of Motivation:

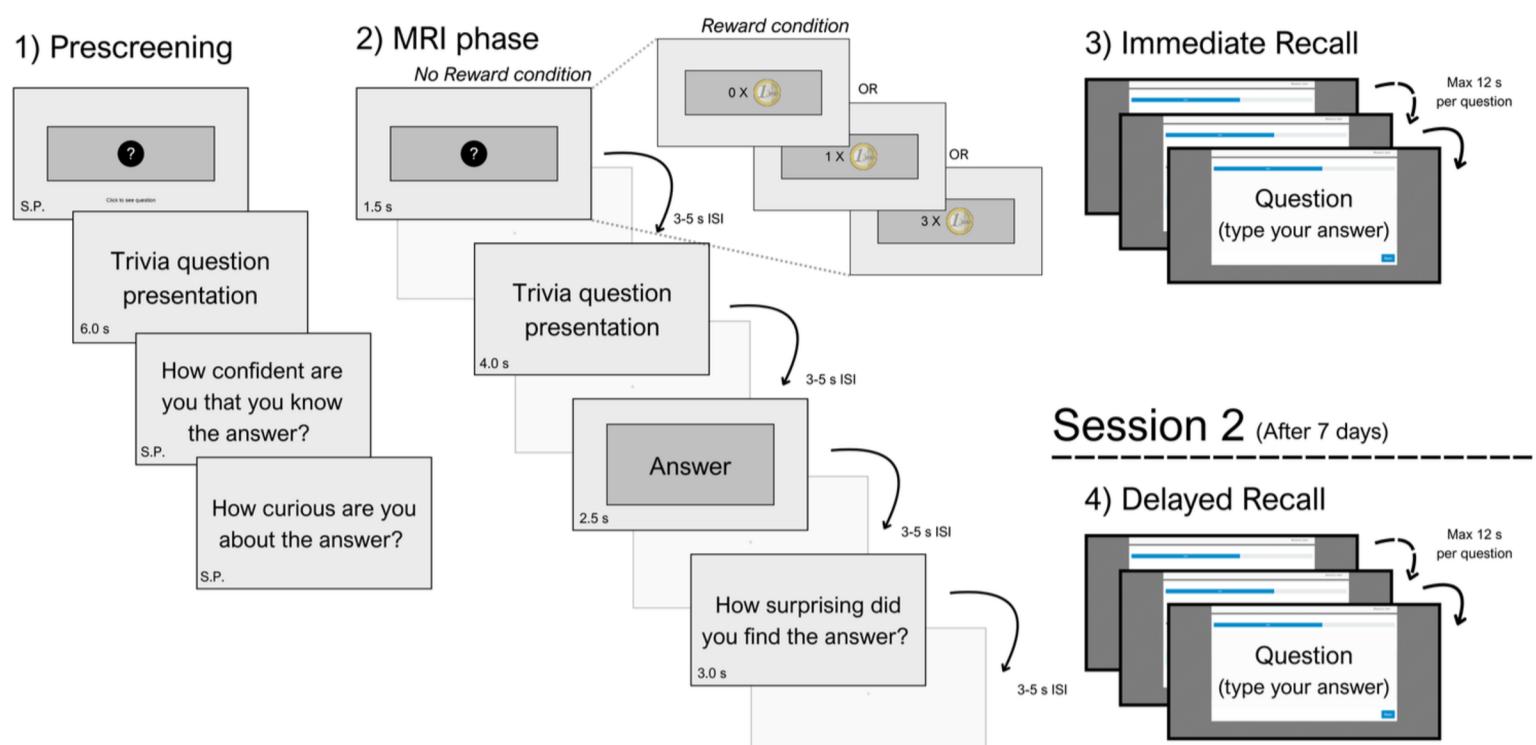
## How Curiosity and Reward Shape the Brain's Memory Systems

### What did we do?

Curiosity and reward are known to improve memory formation: The more I am curious for something and the higher the reward I can earn for performing well, the more I will remember something. In day-to-day settings, like in education, curiosity and rewards (e.g. grades or grandma's report card money) are both present — but very little is known about how the two are related when they are both there. For instance, does reward still work when you are very curious? Or does it always boost memory, regardless of curiosity?

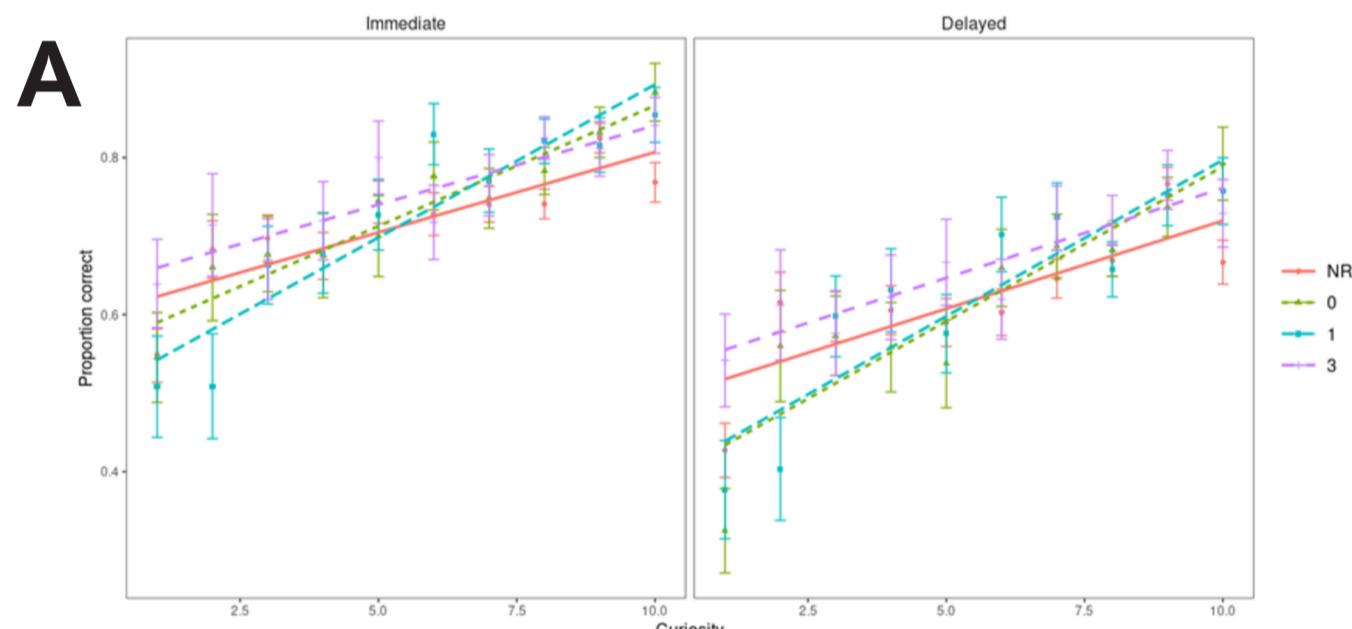
Therefore, we investigated the effects of both curiosity and reward on memory formation of answers to trivia questions. We also looked at how curiosity and reward are represented in the brain: are they similar? Or do they differ?

#### Session 1

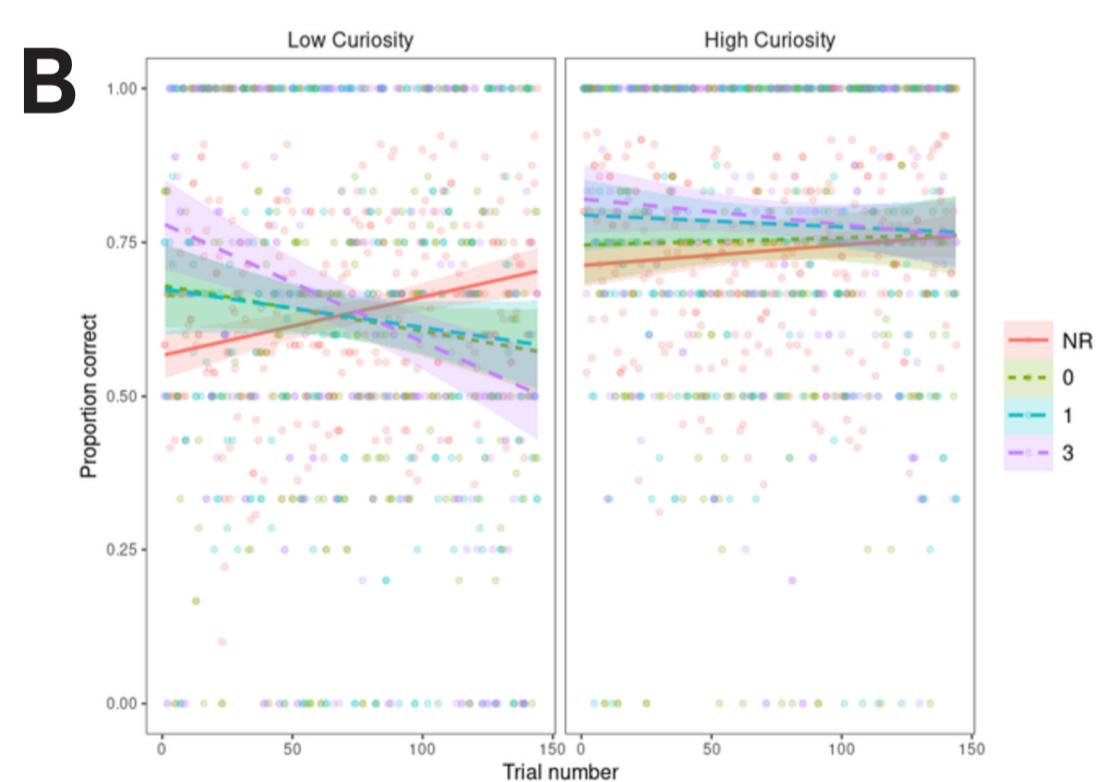


We recruited 43 participants for this MRI experiment. First, they rated how curious they were to get the answer to 244 trivia pursuit questions. Then, we choose 144 of the least and most curiosity-inducing questions and showed them again in the MRI scanner. In the scanner we presented the answer as well, which participants had to remember as best as they could. For half of the questions and answers, participants got promised a potential bonus of 0, 1 or 3 euros if they correctly remembered an answer. In the other half they did not (No Reward / NR). After participants got out of the scanner, we tested them on how well they remembered the answers to the questions: once immediately after getting out of the MRI scanner, and once a week later when they came back to the lab.

Plot showing the effect of curiosity on memory, for the different rewards



Plot showing the change of the effect of reward on memory for low and high curiosity questions



### What did we find... in people's behaviour?

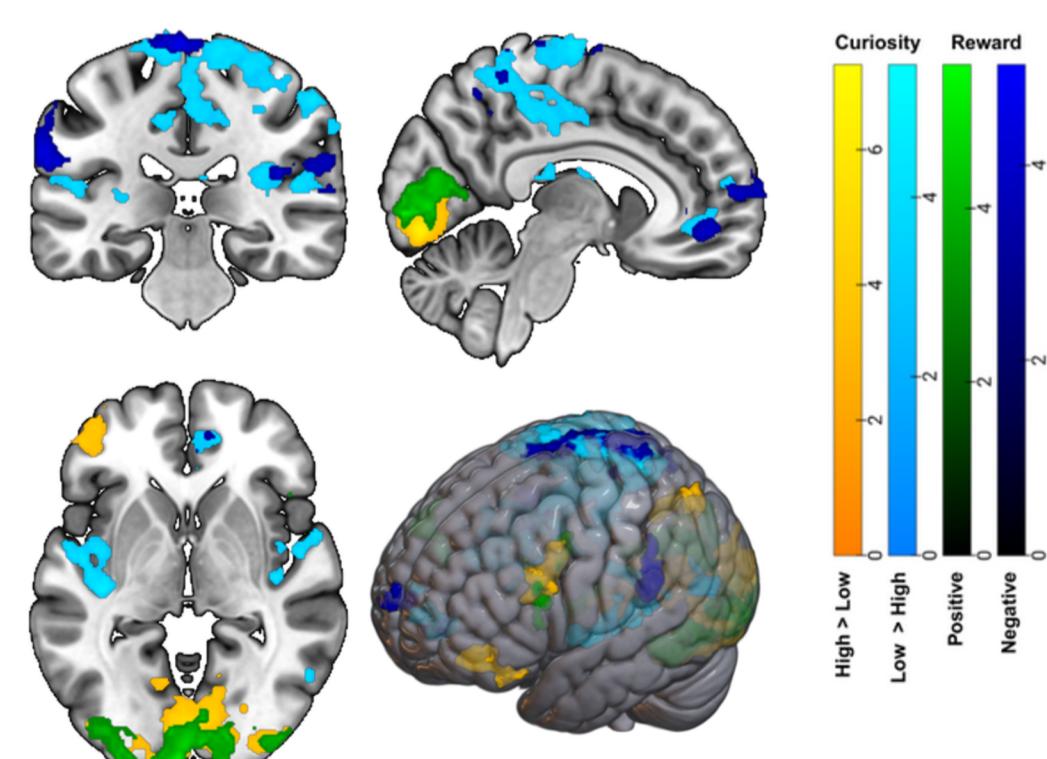
We found a lot of brain regions that supported memory formation that was helped by either curiosity or reward promises. A lot of these brain regions overlapped. This of course does not mean that the brain does the same thing when curiosity or rewards help memory formation, but it shows that there is a chance similar processes take place when either curiosity and rewards help memory to take form. A lot of this activity is probably related to attention or other cognitive processes that help guiding resources to the right activity: correctly storing trivia answers in the brain so that we can later retrieve them.

### What did we find... in people's behaviour?

Firstly, we saw that the more people were curious to get the answer to a trivia question, the better they remembered the answer later in the tests (see plot A). Additionally, if people were told that they could potentially win 3 euros, they remembered the answer better than if they didn't get any reward promise. Strangely, this was also the case for 0 euro promises, but not for 1-euro promises. Additionally, if people got a 1-euro promise, their curiosity had more effect on memory than if they got nothing: a reward boosting curiosity's effect on memory. Unexpected!

We dove a little deeper and looked at the changes over time of these effects (see plot B). We found that 3-euro rewards were more effective than getting no reward promises at the beginning, but over time this effect reduced — so that eventually, in some cases, memory was worse when a high reward was given! The effect of curiosity did not worsen over time. We also found that as you were more curious for an answer to a trivia question, the decreasing effectiveness of rewards in boosting memory got less bad. I.e., curiosity ameliorated or remedied the decline of the reward's effects on memory (compare the left (low curiosity) and right (high curiosity) panel in plot B).

Plot showing the brain regions that showed more (yellow and green) or less (light blue or dark blue) activity when curiosity or rewards helped create long-lasting memories



The light and dark blue coloured regions can also be interpreted as follows: these regions show higher brain activity when low instead of high curiosity questions are presented — or when lower rewards are given compared to higher rewards

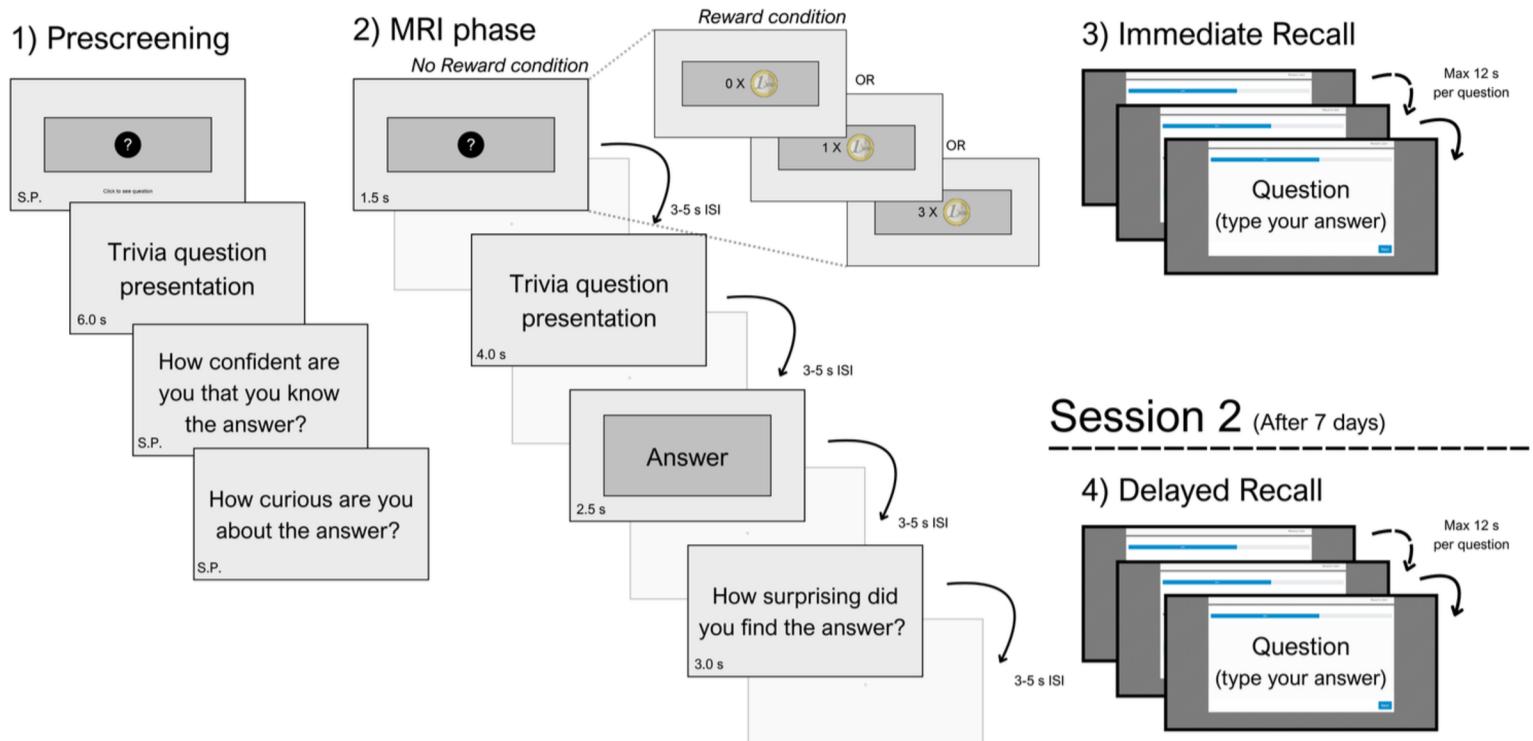
# Een Gezamelijke Eenheid van Motivatie:

Hoe Nieuwsgierigheid en Beloningen ons Geheugensysteem Vormen

## Wat hebben we gedaan?

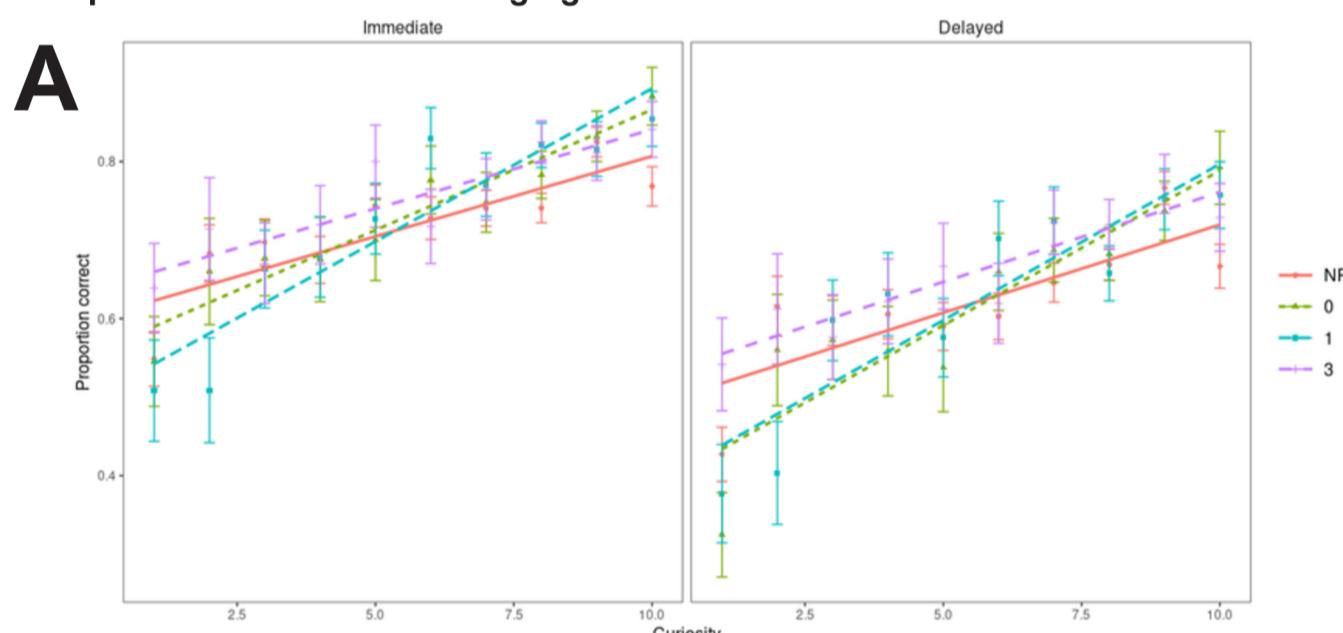
Nieuwsgierigheid en beloning helpen om dingen beter te onthouden: hoe nieuwsgieriger ik naar iets ben en hoe groter de beloning die ik kan krijgen door goed mijn best te doen, hoe beter ik het onthoud. In het dagelijks leven, zoals op school, spelen nieuwsgierigheid en beloningen (bijv. cijfers of het zakgeld van oma voor een goed rapport) allebei een rol — maar we weten nog weinig over hoe ze samenwerken als ze tegelijk aanwezig zijn. Helpt een beloning bijvoorbeeld nog steeds als je al erg nieuwsgierig bent? Of versterkt beloning je geheugen altijd, ongeacht je nieuwsgierigheid? Daarom onderzochten wij de invloed van zowel nieuwsgierigheid als beloning op het onthouden van antwoorden op quizvragen. Ook keken we hoe nieuwsgierigheid en beloning in de hersenen terug te zien zijn: lijken ze op elkaar, of juist niet?

### Session 1

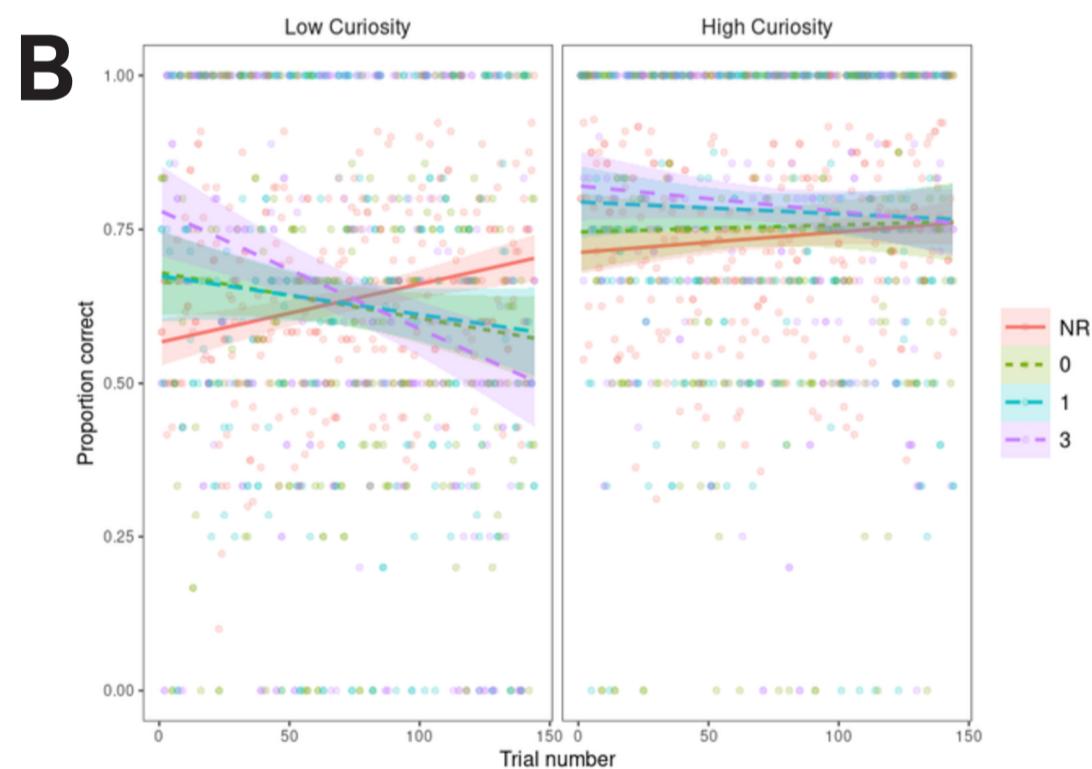


We deden dit MRI-onderzoek met 43 deelnemers. Eerst gaven zij aan hoe nieuwsgierig ze waren naar de antwoorden op 244 quizvragen. Daarna kozen we 144 vragen uit — de minst en de meest nieuwsgierigheid-opwekkende — en lieten die opnieuw zien in de MRI-scanner. In de scanner kregen ze ook het antwoord te zien, dat ze zo goed mogelijk moesten onthouden. Bij de helft van de vragen en antwoorden kregen deelnemers de kans op een bonus van 0, 1 of 3 euro als ze het juiste antwoord later konden geven. Bij de andere helft was er geen beloning (No Reward / NR). Nadat deelnemers uit de scanner kwamen, testten we meteen hoe goed ze de antwoorden nog wisten. Een week later kwamen ze terug naar het lab voor een tweede geheugentest.

Grafiek die het effect van nieuwsgierigheid op het geheugen laat zien, apart voor elke soort beloning



Grafiek die het beloningseffect laat zien over de tijd, voor hoge en lage nieuwsgierigheidniveau's

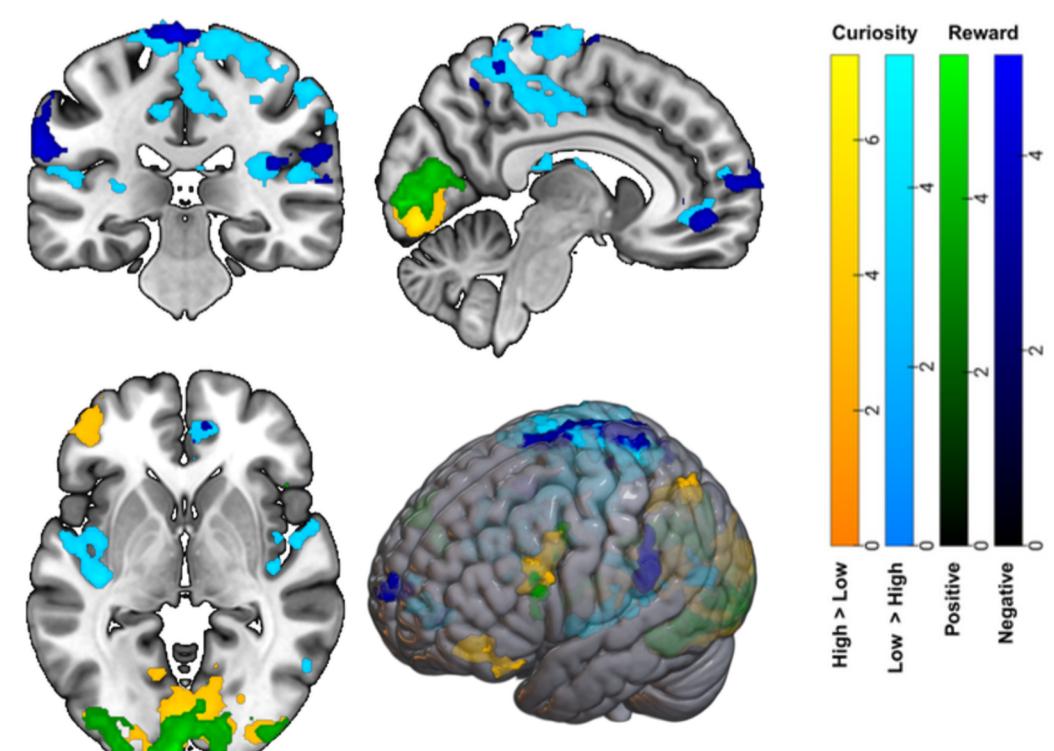


## Wat zagen we... in het gedrag?

Ten eerste zagen we dat hoe nieuwsgieriger mensen waren naar het antwoord op een quizvraag, hoe beter ze het later in de testen onthielden (zie grafiek A). Daarnaast gold: als mensen hoorden dat ze 3 euro konden winnen, onthielden ze het antwoord beter dan wanneer er geen beloning beloofd was. Opmerkelijk genoeg gold dit ook bij een belofte van 0 euro, maar niet bij 1 euro. Verder bleek dat bij een belofte van 1 euro nieuwsgierigheid juist méér invloed had op het geheugen dan zonder beloning: een beloning die het effect van nieuwsgierigheid op geheugen versterkt. Onverwacht!

We keken daarna wat dieper in de data en bestudeerden hoe deze effecten in de tijd veranderden (zie grafiek B). We zagen dat beloningen van 3 euro in het begin effectiever waren dan geen beloning, maar dat dit effect na verloop van tijd afnam — zo sterk zelfs dat geheugen soms slechter werd bij een hoge beloning! Het effect van nieuwsgierigheid werd daarentegen niet minder over de tijd. Ook ontdekten we dat hoe nieuwsgieriger je was naar het antwoord op een quizvraag, hoe minder erg de beloningen afzwakten in effectiviteit. Met andere woorden: nieuwsgierigheid verzachte of herstelde het afnemende effect van beloning op geheugen (vergelijk het linker (laag nieuwsgierig) en rechter (hoog nieuwsgierig) paneel in grafiek B).

Brainregio's die meer (geel en groen) of minder (licht- of donkerblauw) activiteit laten zien wanneer nieuwsgierigheid of beloningen helpen bij het vormen van het geheugen



De licht- en donkerblauwe hersengebieden kunnen ook zo worden geïnterpreteerd: deze gebieden lieten meer hersenactiviteit zien bij vragen die weinig in plaats van veel nieuwsgierigheid opriepen — of wanneer lagere beloningen werden gegeven vergelijking met hogere beloningen.

We vonden veel hersengebieden die betrokken waren bij geheugenvorming die geholpen werd door nieuwsgierigheid of door beloningen. Veel van deze hersengebieden overlappen. Dat betekent natuurlijk niet dat de hersenen precies hetzelfde doen wanneer nieuwsgierigheid of beloning het geheugen ondersteunen, maar het laat wel zien dat er mogelijk vergelijkbare processen aan het werk zijn. Waarschijnlijk hangt veel van deze activiteit samen met aandacht of andere cognitieve processen die helpen om de juiste middelen te gebruiken voor de meest belangrijkste taak op het moment: het goed opslaan van quizantwoorden in het geheugen zodat we ze later weer kunnen herinneren.