ONDERZOEKSNOTITIE · OPENBARE EDITIE

2026 · 11



PROOF OF USEFUL WORK · CRYPTO × SILICIUM

Rekenkracht als consensus

AI × crypto × chips in 2026, vertrekkend vanuit de proof of useful work van Pearl

Pearl · Nuttig werk · DePIN en agents · ASIC-economie · Procesnodes · Gefaseerde budgetten

HET OORDEEL

Pearl bewijst dat matrixvermenigvuldiging een blockchain kan beveiligen, maar nog niet dat het werk nuttig is. In heel AI × crypto zit betaalde vraag in inferentie, data en privacy, en een ASIC loont alleen waar de pot groot is, de regels stabiel zijn en de chip een tweede markt heeft.

Tan Shuai

Technoloog en oprichter · AI-onderzoeker en -ontwikkelaar

tanshuai.com · i@tanshuai.com

Gegevens per 13 november 2026

Bedragen in Amerikaanse dollars

INHOUD

Inhoud



◆ **Samenvatting** 04
De stelling klopt, de prikkel niet

01 **Afbakening en methode** 07
Afbakening, methode en vier toetsen

02 **Pearl · het mechanisme** 08
Pearl: matrixvermenigvuldiging als consensus

03 **Pearl · de economie** 10
Pearl: schaal, emissie en de nutskloof

04 **Pearl · de regels** 12
Pearl: regelrisico, numeriek en governance

05 **Chains met nuttig werk** 13
Chains met nuttig werk: matrices noch zero knowledge houden ASIC's tegen

06 **Het bredere landschap** 16
De rest van AI × crypto: echte maar kleine vraag, en waarde die naar aandelen verschuift

07 **ASIC-economie** 18
De ASIC-vraag: één formule, drie maatstaven

08 **Per chiptype** 21
Vijf chiptypen, vijf antwoorden

09 **Procesnodes** 25
Procesnodes: laat de grootste levensduurkost kiezen

10 **Een gefaseerd budget** 29
Van model naar silicium: een gefaseerd budget voor een eerste chip

11 **Kansen** 31
Waar de kansen liggen, en wat ik zou doen

12 **Wegwijzers** 33
Waar je op moet letten, november 2026 tot 2027

13 **Vragen om te stellen** 34
Vragen die je niet stelde maar wel had moeten stellen

◆ **Over de auteur** 36
Tan Shuai

◆ **Bronnen** 37

FIGUREN

Figuren



FIG. 01	AI × crypto in zes sectoren: waar betaalde vraag echt is	06
FIG. 02	Bij het integerwerk van Pearl delen GPU's een energieplafond	09
FIG. 03	De eerste zes maanden van Pearl: hashrate volgt prijs, regels veranderen	11
FIG. 04	De subsidiemultiple: hoeveel keer de externe omzet een netwerk betaalt	15
FIG. 05	Waarom efficiëntie niet meer loont: een ASIC houdt hooguit 1 − 1/k over	19
FIG. 06	De meeste potten zijn kleiner dan één chipontwerpbudget	21
FIG. 07	Vijf chiptypen, vijf antwoorden	25
FIG. 08	Een wafer aan de leidende rand kost tien keer een volwassen wafer	26
FIG. 09	Koop bewijs vóór maskers: een gefaseerd budget voor een eerste chip	29

Labels in de tekst

- **schatting** berekening of afleiding van de auteur uit geciteerde gegevens
- **leverancierclaim** gepubliceerd door het bedrijf dat het product verkoopt, niet onafhankelijk geverifieerd
- **analyse** interpretatie van het bewijs door de auteur

Dit is een vertaling van de Engelse editie; waar de twee verschillen, is de Engelse editie leidend.

Gegevens per 13 november 2026 · Bedragen in Amerikaanse dollars

SAMENVATTING

De stelling klopt, de prikkel niet

HET OORDEEL

Pearl toont aan dat “rekenkracht als consensus” technisch werkt, maar nog niet dat het nuttig is.

≈90 EH/s
het netwerk van Pearl op 13 november 2026, waarbij één H één INT7-multiply-accumulate is

≈1%
van de blokken van Pearl bevat echt AI-werk (Blockworks, 28 oktober 2026)

≈$70 mln
per jaar aan verifieerbare externe omzet bij Bittensor, tegenover meer dan $300 miljoen aan emissies

175–180×
de proverbeloningen van Aleo tegenover de fees in het derde kwartaal van 2025

R × (1 – 1/k)
het winstplafond van een ASIC die k keer goedkoper is dan de marginale miner
schatting

≈$1,5 mln
om via een model, een FPGA en een MPW gemeten silicium op N7 te bereiken, vóór een maskerset van ≈$3,5 mln
schatting

Pearl

Op 13 november 2026 draaide het netwerk van Pearl op ongeveer 90 EH/s. In de consensuscode is één “hash” één integer-multiply-accumulate, dus het netwerk staat gelijk aan de integerdoorvoer van ongeveer 122.000 H100’s. Toch bevat slechts ongeveer 1% van de blokken echt AI-werk, en het ene openbare inferentiepartnerschap wordt niet meer aangeboden op de serverless API van de aanbieder. De oorzaak is economisch, niet cryptografisch: een GPU die mint terwijl hij inferentie levert, haalt slechts ongeveer 1% tot 27% van de hashrate van een toegewijde miner, dus rationele miners vermenigvuldigen willekeurige matrices.

Betaalde vraag

In heel AI × crypto duikt verifieerbare betaalde vraag op drie plaatsen op: de verkoop van inferentie, de verkoop van data en de verkoop van privacy. De verifieerbare externe omzet van Bittensor bedraagt ongeveer $70 miljoen per jaar, waarvan ongeveer vier vijfde uit subnets voor rekenkracht en infrastructuur. Grass meldt $17 miljoen aan data-omzet in de eerste helft van 2026. Vertrouwelijke inferentie in trusted execution environments draait in productie. Daartegenover komen betalingen die werkelijk door AI-agents worden geïnitieerd uit op ongeveer $5.000–11.000 per maand, en zkML en gedecentraliseerde training hebben nog geen bekendgemaakte betalende vraag.

Subsidie en waarde

De subsidiemultiple is de eerlijkste gezondheidstest. De proverbeloningen van Aleo waren ongeveer 175–180 keer de fees; de emissies van Bittensor zijn ongeveer 4–11 keer de verifieerbare omzet; de marktwaarde van Render is ongeveer 360 keer de on-chain fees; en de ongeveer $460 miljoen per jaar aan minerinkomsten van Pearl is grotendeels bloksubsidie, vrijwel los van betaalde AI-vraag. Subsidie is brandstof voor een koude start, geen verdienmodel. Intussen verschuift waarde van tokens naar aandelen: vier bedrijven met aandelenkapitaal die

centrale infrastructuur en crypto-native distributie gebruiken, worden gewaardeerd op ongeveer $8,5 miljard, ongeveer evenveel als de AI-tokens op protocol- en applicatielaag samen.

ASIC's

Voor chips is het winstplafond van een ASIC ruwweg de omzet per eenheid rekenkracht maal (1 − 1/k), waarbij k aangeeft hoeveel keer goedkoper de chip is dan de marginale hardware. Omdat die term concaaf is, voegt efficiëntie voorbij k = 5–10 vrijwel geen winst toe; wat de uitkomst bepaalt, zijn de omvang van de pot, hoe lang de regels standhouden en of de chip een tweede markt heeft. Mijn antwoorden per chiptype: tape nu geen speciale INT7-chip voor Pearl uit, maar zet in op een inferentie-eerst-accelerator die ook kan minen; blijf als nieuwkomer weg uit de markt voor commerciële bitcoinminers; bouw als klein team geen losse trainingschip; bouw inferentiechips wanneer er een klant getekend heeft; dek je in bij ZK-accelerators en positioneer je vroeg op FHE.

Nodes en budgetten

De procesnode moet worden gekozen op basis van de grootste post in de levensduurkosten van de chip: energie voor chips die dag en nacht draaien, packaging en geheugen voor trainingschips, de keuze tussen SRAM en HBM voor inferentiechips. En een eerste chip moet in fasen worden ingekocht, een model, een FPGA, een multi-project wafer en pas daarna een maskerset, zodat een wijziging in het protocol de prijs van een prototype kost in plaats van die van een tape-out. De kansen liggen waar de vakgebieden elkaar kruisen: crypto als eerste klant, AI als tweede markt.

Vraag	Oordeel	Kerncijfers (bronnen in de hoofdstukken)
① **Werkt Pearl, en is het werk nuttig?**	Het werkt: een blockchain die op schaal wordt beveiligd door matrixvermenigvuldiging. Nog niet nuttig: vrijwel al het minen gebeurt op willekeurige matrices	Ongeveer 90 EH/s op 13 november 2026; 1 H = 1 INT7-multiply-accumulate; ongeveer 1% van de blokken met AI-werk
② **Waar zit de echte betaalde vraag in AI × crypto?**	Inferentie, data en privacy. Agentbetalingen, zkML en gedecentraliseerde training zitten nog vóór de vraag	Bittensor ongeveer $70 miljoen per jaar aan verifieerbare omzet; Grass $17 miljoen in H1 2026; agentbetalingen ongeveer $5.000–11.000 per maand
③ **Is een ASIC de moeite waard?**	Alleen waar de pot groot is, de regels stabiel zijn en de chip een tweede markt heeft. Vandaag biedt geen enkel netwerk alle drie	Winstplafond ≈ R × (1 − 1/k); bitcoin ongeveer $11,5 miljard per jaar aan mineromzet, Pearl ongeveer $0,46–0,49 miljard, Kaspa ongeveer $18 miljoen
④ **Welke chips moet een klein team bouwen?**	Inferentie-eerst-accelerators die ook kunnen minen; inferentiechips voor een getekende klant; vroeg FHE-werk. Geen commerciële bitcoinminers of trainingschips	De beste ASIC voor Kaspa verdient $0,86 per dag; ontwerpbudgetten op 3/2 nm van $60–400 miljoen of meer
⑤ **Welke procesnode?**	De grootste levensduurkost beslist: energie, packaging en geheugen, of de geheugenarchitectuur	TSMC N2 ongeveer $30.000 per wafer tegenover ongeveer $3.000 voor N28; HBM en CoWoS ongeveer 63% van de kosten van een H100
⑥ **Wat kost een eerste chip, en hoe koop je die in?**	In vier fasen: een model, een FPGA, een multi-project wafer, daarna maskers. Stop vóór de maskers als de regels of de koper niet vaststaan	Een commerciële MPW-plaats $50.000–500.000; maskers op N7 ongeveer $3,5 miljoen; een ontwerpbudget op 7/6 nm van $15–100 miljoen

FIG. 01 **AI × crypto in zes sectoren: waar betaalde vraag echt is**

Verifieerbare betaalde vraag tegenover signalen van subsidie en waardering, november 2026

Chains met nuttig werk 01

ECHT MAAR KLEIN

≈$70 mln per jaar

Verifieerbare externe omzet van Bittensor

Signaal: emissies 4–11× omzet; Pearl ≈1% AI-blokken

De mechanismen werken; nut vraagt betalers

Gedecentraliseerde rekenkracht 02

ECHT MAAR KLEIN

$2,35 mln per jaar

On-chain fees van Render, de grootste verifieerbare

Signaal: marktwaarde ≈360× fees

Vooral doorverkoop van standaardinferentie

Training en inferentie 03

WINST IN AANDELEN

$100 mln+ per jaar

Prime Intellect, een bedrijf met aandelen op centrale GPU's

Signaal: trainingsmainnet van Gensyn niet live

Vooruitgang is echt; winst gaat naar aandelen

Verifieerbare AI 04

VROEG

398

betalende gebruikers van de TEE-cloud van Phala, eind 2025

Signaal: geen bekendgemaakte betaalde zkML

TEE's in productie; zkML vroeg

Agentbetalingen 05

VÓÓR DE VRAAG

$5–11K per maand

x402-betalingen werkelijk geïnitieerd door agents

Signaal: ≈200 mln transacties, vooral signalering

De rails kwamen eerst; de vraag niet

Datanetwerken 06

ECHTE KOPERS

$17 mln

Data-omzet van Grass, eerste helft 2026 (zelf gemeld)

Signaal: marktwaarde ≈10× omzet op jaarbasis

Een van de weinige sectoren met echte kopers

Bron: DefiLlama, SubConnect (via hoge.gg), TRM Labs, Phala, Dealroom, SiliconANGLE, CoinGecko, Blockworks; synthese van de auteur.

01 AFBAKENING EN METHODE
Afbakening, methode en vier toetsen

Waarom dit rapport, en waarom nu

In april 2026 bracht een nieuwe blockchain, Pearl, een oud idee in productie: laat miners om blokken concurreren door de matrixvermenigvuldigingen uit te voeren waarop AI draait, in plaats van te hashen. Binnen zes maanden bereikte het netwerk ongeveer 90 EH/s en de token een marktwaarde van ongeveer $500 miljoen. Tegelijk haalden marktplaatsen voor AI-rekenkracht, netwerken voor gedecentraliseerde training, betaalrails voor agents en datanetwerken miljarden op, en begonnen bitcoinminers hun stroomlocaties om te bouwen tot AI-datacenters. Ik wilde weten welke hiervan echte klanten hebben, of maatwerksilicium er ergens zin heeft en welke procesnode en welke foundry een chipteam werkelijk kan gebruiken.

Vier toetsen voor elk AI × crypto-project

Een beveiligingsstudie uit 2017 over Gridcoin stelde dat nuttige berekeningen een blockchain alleen kunnen beveiligen als ze moeilijk op te lossen, makkelijk te verifiëren en makkelijk te belonen zijn. Ik voeg een vierde toets toe. Samen bepalen ze het grootste deel van wat volgt.

01 **Moeilijk op te lossen.** Eerlijk rekenen moet de goedkoopste manier zijn om een geldig bewijs te produceren; er mag geen kortere weg zijn.

02 **Makkelijk te verifiëren.** Het controleren van het werk moet veel minder kosten dan het uitvoeren ervan, anders betaalt het netwerk twee keer.

03 **Makkelijk te belonen.** Het protocol moet de beloning uitsluitend uit het bewijs kunnen berekenen, zonder een derde partij te vertrouwen.

04 **Iemand betaalt voor de uitkomst.** Tenzij een klant buiten het netwerk voor het resultaat betaalt, is het “nuttige” werk een subsidie met een verhaal.

Hashpuzzels doorstaan de eerste drie toetsen en zakken voor de vierde. Echte AI-taken doorstaan de vierde maar zakken voor de tweede: een AI-berekening in zero knowledge bewijzen kost 100 tot 10.000 keer de berekening zelf, en van proof-of-learning-schema’s is aangetoond dat ze goedkoop te vervalsen zijn. De ruisige matrixvermenigvuldiging van Pearl is de eerste geloofwaardige brug die de verificatietoets doorstaat en toch dezelfde vorm houdt als AI-rekenwerk.

Hoe ik heb gewerkt

Dit is bureauonderzoek, uitgevoerd zoals ik een chip of een ondernemingsplan zou beoordelen. Ik las de code van Pearl, de protocolvoorstellen en de whitepaper; chaindata van een onafhankelijke full node; jaarverslagen en kwartaalcijfers van bedrijven; papers uit cryptografie, computerarchitectuur en machine learning; prijsgegevens van foundry’s en leveranciers; en vak- en technologiepers. Elk getal heeft een datum. Waar ik zelf een getal afleid, zeg ik dat en markeer ik het als schatting. Getallen die alleen de verkoper meldt, zijn gemarkeerd als

leverancierclaim; mijn interpretatie van het bewijs is gemarkeerd als analyse. Bedragen zijn in Amerikaanse dollars. De stand is die van 13 november 2026.

HOOFDSTUK 02

02

PEARL · HET MECHANISME

Pearl: matrixvermenigvuldiging als consensus

Het idee, van stelling tot mainnet

In april 2025 publiceerden Ilan Komargodski en Omri Weinstein “Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication”. Ze construeren een proof of useful work voor elk matrixproduct met een overhead van slechts 1 + o(1) keer een naïeve vermenigvuldiging; de veiligheid berust op de moeilijkheid van het oplossen van reeksen willekeurige lineaire vergelijkingen van lage rang, wat een vermoeden is, geen bewijs. De paper benoemt de werkelijke moeilijkheid van het vakgebied: een proof of useful work met een overhead van een constante factor is triviaal maar nutteloos; het moeilijke is ervoor zorgen dat eerlijk rekenen de goedkoopste manier blijft om te winnen wanneer miners hun eigen invoer kiezen.

Het mainnet van Pearl startte op 27 april 2026 om 09:00 UTC. Miners berekenen een ruisig product (A + E)(B + F), waarbij de ruis van lage rang wordt afgeleid uit een BLAKE3-commitment, en verwijderen daarna de ruis om A·B terug te krijgen. De accumulatorstatus van elke uitvoertegel wordt gehasht tot een loterijlot; een winnende tegel wordt geopend en bewezen met een recursief Plonky2-zero-knowledge-bewijs van minder dan 60 KB, binnen een bloccertificaat van maximaal 65 KB. Verificatie is een klein bewijs van constante grootte, onafhankelijk van de matrixgrootte: even goedkoop te controleren als een hashpuzzel, terwijl de berekening zelf nuttig kan zijn.

Eén multiply-accumulate is één “hash”

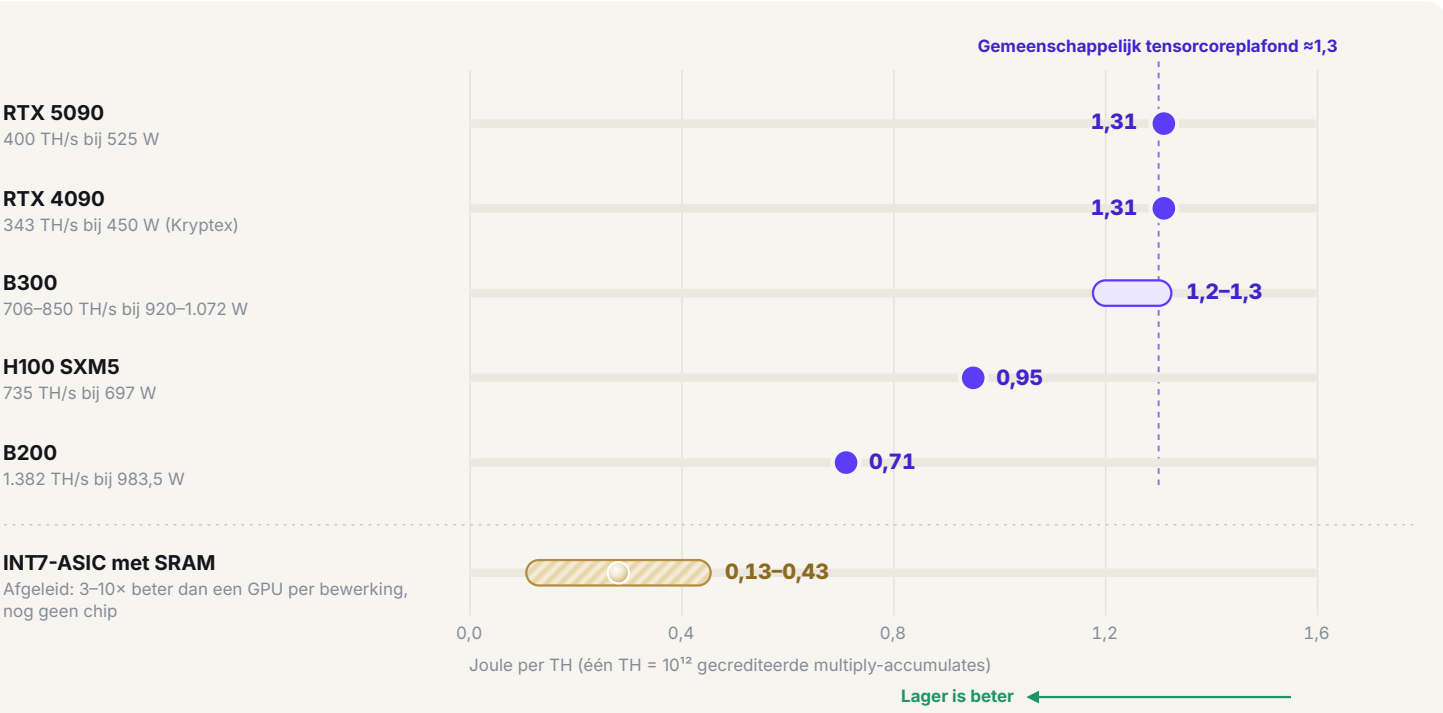
Voor een chipontwerper is het belangrijkste feit de eenheid. De consensuscode van Pearl schaalt het doel van elke poging met de tegelgrootte maal de lengte van het inwendig product, dus **1 H is precies één gecrediteerde INT7 × INT7 → INT32-multiply-accumulate (MAC)**. Sinds blok 96.251 vereist een rangstraf een ruisrang van minstens 128; bij de minimale rang is 1 H nog steeds gelijk aan 1 MAC. “EH/s” betekent bij Pearl dus letterlijk 10^18 integer-multiply-accumulates per seconde: **voor het eerst wordt het beveiligingsbudget van een blockchain uitgedrukt in de tensordoorvoer van AI-accelerators.** Gemeten GPU-hashrates liggen op 60% tot 95% van de dichte INT8-multiply-accumulatepiek van elke kaart, wat bij deze lezing past.

Hardware	Hashrate op Pearl	Vermogen	Joule per biljoen MAC’s (J/TH)	Bron (datum)
RTX 5090	400 TH/s	525 W	1,31 schatting	Kryptex (12 november)
RTX 4090	ongeveer 305 TH/s (bereik in de community 280–330); Kryptex vermeldt 343 TH/s	450 W (Kryptex)	1,31 (cijfers van Kryptex) schatting	prlstats (3 oktober); Kryptex
H100 SXM5	735 TH/s	697 W	0,95 schatting	PeakMiner, via prlstats (19 september)
B200	1,382 PH/s	983,5 W	0,71 schatting	PeakMiner, via prlstats

Hardware	Hashrate op Pearl	Vermogen	Joule per biljoen MAC's (J/TH)	Bron (datum)
B300	706–850 TH/s	920–1.072 W	1,2–1,3 schatting	prlstats; SimeonOnSecurity

FIG. 02 **Bij het integerwerk van Pearl delen GPU's een energieplafond**

Joule per biljoen INT7-multiply-accumulates (J/TH) bij gemeten hashrate op Pearl; lager is beter



Bron: Kryptex (12 november 2026); benchmarks van PeakMiner en SRBMiner via prlstats; SimeonOnSecurity; het ASIC-bereik is een afleiding van de auteur, geen meting.

Twee details in deze tabel zijn van belang voor chipontwerpers. Ten eerste komen de consumentenkaarten RTX 4090 en 5090 en de datacenterkaart B300 uit op ongeveer 1,3 J/TH, en zelfs de beste kaart, de B200, haalt slechts ongeveer 0,71 J/TH. Een datacenter-GPU van tienduizenden dollars verbruikt per integer-multiply-accumulate bijna evenveel energie als een gamingkaart, wat wijst op een gemeenschappelijk plafond van tensorcore-energie per INT8-MAC, en precies dat plafond zou een speciale chip kunnen doorbreken. Ten tweede is de B300 trager dan de B200: NVIDIA verlaagde de INT8-doorvoer in Blackwell Ultra sterk, dus het integerwerk moet op die chip een trager pad nemen. Gangbaar AI-silicium beweegt weg van INT8 richting FP8 en FP4. Wanneer het getalformaat dat een consensus kiest afwijkt van de richting van de hardware, wordt het protocol gedwongen zijn regels te wijzigen, en dat is de wortel van de FP8-fork en van mijn ASIC-oordeel verderop in dit rapport.

HOOFDSTUK 03

03 PEARL · DE ECONOMIE

Pearl: schaal, emissie en de nutskloof

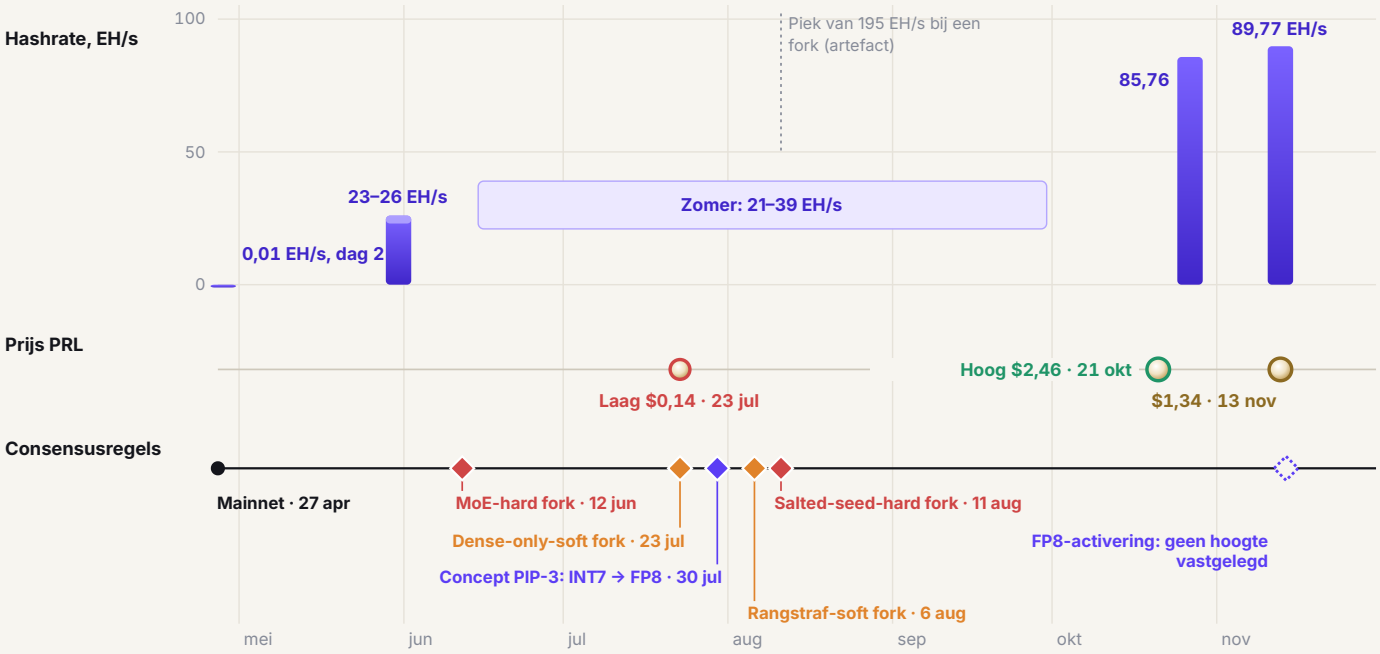
Van 0,01 naar 90 EH/s in zes maanden

Maatstaf	Waarde (13 november 2026)	Grondslag en bron
Hashrate van het netwerk	Ongeveer 90 EH/s (basislijn 89,77; bereik op dezelfde dag 88,20–93,22; intradaghoogtepunt op 12 november van 110–123)	Onafhankelijke full node prlstats; Kryptex
Moeilijkheidsgraad en blokhoogte	58.841.982 en 142.530	prlstats
Equivalente hardware	Ongeveer 122.000 H100's of 225.000 RTX 5090's	Bij 735 en 400 TH/s per kaart schatting
Prijs, marktwaarde en volledig verwaterde waarde	$1,32–1,34; ongeveer $500 miljoen; ongeveer $2,8 miljard (CoinGecko-rang 101)	CoinGecko
Hoogste en laagste koers ooit	$2,46 (21 oktober) en $0,1399 (23 juli)	CoinGecko
Gedolven munten	377,6 miljoen PRL, 17,98% van het plafond van 2,1 miljard	prlstats
Bloksubsidie en dagelijkse emissie	Ongeveer 2.173 PRL en ongeveer 0,97–1,03 miljoen PRL	prlstats; Kryptex
Nieuw aanbod in de komende 12 maanden	Ongeveer 78% van het huidige aanbod	prlstats
Minerinkomsten	Ongeveer $1,25 miljoen per dag (model), ongeveer $460 miljoen per jaar	prlstats
Omzet per eenheid hashrate, R	Ongeveer $14–15 per PH/s per dag; een RTX 5090 verdient ongeveer $5–6 per dag	schatting; Kryptex
Blokken met echt AI-werk	Ongeveer 1% (schatting van 28 oktober)	Blockworks
Poolconcentratie	Kryptex vond 46,4% van de blokken in de laatste 24 uur; de twee grootste pools ongeveer 62%	prlstats
Concentratie van houders	Gini-coëfficiënt van adressen 0,969; de top 100 adressen houden 53,0%	prlstats

De hashrate van Pearl is bijna een vertraagde functie van de prijs. De dag na de lancering draaide het netwerk op ongeveer 0,01 EH/s; eind mei bereikte het 23–26 EH/s. In de zomer daalde de prijs ongeveer 86% vanaf het hoogtepunt in mei en bewoog de hashrate zijwaarts op 21–39 EH/s. Nadat de prijs in september en oktober ongeveer vertienvoudigde, bereikte de hashrate 85,76 EH/s op 27 oktober en ongeveer 90 EH/s in november. Een piek naar 195 EH/s op 11 augustus viel samen met een fork en moet worden gelezen als een schattingsartefact. Het energieverbruik groeide mee: één studie schatte ongeveer 112 MW voor het hele netwerk bij 24 EH/s, en een model van prlstats komt vandaag uit op ongeveer 190–215 MW.

FIG. 03 **De eerste zes maanden van Pearl: hashrate volgt prijs, regels veranderen**

Hashrate van het netwerk, drie prijspunten en elke consensuswijziging, 27 april tot 13 november 2026



Bron: Full node en reeksen van prlstats; Kryptex; CoinGecko; params.go en PIP-3 van Pearl. De piek van 11 augustus is een schattingsartefact bij een fork.

Emissie versterkt de reflexiviteit

Het aanbodplafond is 2,1 miljard munten en er zijn geen halveringen: de bloksubsidie daalt geleidelijk volgens E(t) = S·H / ((t + H)(t + H − 1)) met H = 650.226. Maar emissie wordt geteld in blokken, niet in tijd, en de vroege moeilijkheidsgraad begon te laag en paste zich langzaam aan. **Op de eerste dag werden ongeveer 44,06 miljoen munten gedolven en in de eerste zes dagen ongeveer 120 miljoen**, ongeveer 32% van het huidige aanbod schatting. Recente blokken komen met ongeveer 171–183 seconden nog steeds sneller dan het doel van 194 seconden. Het gevolg is dat het aanbod in de komende 12 maanden met ongeveer 78% groeit, een verwatering waarmee miners, hardwaremakers en houders allemaal te maken krijgen.

De economie van miners volgt daaruit. De minerinkomsten van het hele netwerk bedragen ongeveer $1,25 miljoen per dag (model); de dagelijkse emissie van Kryptex maal de huidige prijs geeft ongeveer $1,35 miljoen per dag, dus **omzet per eenheid hashrate R ≈ $14–15 per PH/s per dag** schatting. Een RTX 5090 verdient ongeveer $5–6 per dag. Een H100 of H200 verdient ongeveer $11, terwijl de goedkoopste openbare on-demandhuur ongeveer $2,09 per kaart per uur is, ongeveer $50 per dag, dus kaarten huren alleen om te minen levert zwaar verlies op. R schommelt sterk: volgens de reeks van prlstats was het ongeveer $10 in augustus en september en kortstondig ongeveer $33 half oktober schatting. Binnen enkele weken na de lancering halveerde de geschatte dagomzet van een RTX 5090 van ongeveer $33,80 naar ongeveer $17,19. Cloud-GPU's huren om te minen loonde alleen in de eerste weken en tijdens de prijspiek in oktober.

De stelling klopt; de prikkel niet

Het echte probleem is vraag, niet cryptografie. De enige openbare commerciële integratie van Pearl is een Gemma-4-31B-it-pearl-endpoint van Together AI, gelanceerd op 15 mei tegen meer dan 25% onder de gebruikelijke prijs, met de korting gefinancierd uit de verwachte toekomstige waarde van de emissie. Op 13 november toonde de modelpagina dat het **niet beschikbaar is op de serverless API van Together**. In juni concludeerde een

telling van 8.012 online mininginstanties, ongeveer 21% van het netwerk, dat het netwerk helemaal geen nuttige AI-berekening produceerde (de auteur noemt het bewijs suggestief, niet sluitend), en liet zien dat shares die uit puur willekeurige matrices waren opgebouwd door pools werden geaccepteerd. Op 28 oktober schatte Blockworks dat **slechts ongeveer 1% van de blokken echt AI-werk bevat**; zonder dat, schreef het, is Pearl een kleinere, minder veilige, sneller inflerende bitcoin.

De reden is te berekenen. De overhead aan de inferentiekant is werkelijk klein: Pearl meldt een toename van 5,08% in end-to-endtijd voor Llama 70B op vier H200's, en een onafhankelijke test mat een doorvoerverlies van 9,2% op één Hopper-GPU. De miningkant verdient te weinig. De officiële vLLM-plug-in mint alleen op prefill-batches van minstens 1.024 tokens en nooit op decode-stappen. Een kaart die inferentie levert, haalt ongeveer 27% van de hashrate van een toegewijde miner bij puur prefill-verkeer, ongeveer 5,4% bij een chatmix die voor 80% uit decode bestaat, en slechts ongeveer 1% bij verkeer dat door decode wordt gedomineerd. Zonder betaalde inferentievraag vermenigvuldigt een rationele miner willekeurige matrices; het protocol verifieert dat de vastgelegde matrices eerlijk zijn vermenigvuldigd, niet of ze nuttig waren. **De stelling klopt; de prikkel niet.** Het nut van Pearl is een commercieel probleem buiten de chain: iemand moet voor inferentie betalen.

HOOFDSTUK 04

04 PEARL · DE REGELS
Pearl: regelrisico, numeriek en governance

Vier forks in twee maanden

De andere kant van Pearl is hoe snel de regels veranderen. Van juni tot augustus 2026 voerde het lab vier consensuswijzigingen door op hardgecodeerde hoogtes: een mixture-of-experts-hard fork (blok 71.935, rond 12 juni), een dense-only-soft fork (91.630, rond 23 juli), een rangstraf-soft fork (96.251, rond 6 augustus) en een salted-seed-hard fork (99.000, rond 11 augustus). Na de salted-seed-fork konden oude miners alleen nog ongeldige shares produceren; de rangstraf verlaagde de effectieve hashrate van configuraties met hoge rang met 50% tot 87,5%.

De volgende stap is PIP-3, nog een concept: het verplaatst minen van INT7 naar FP8 × FP8 → FP32 en vereist bit-exacte apparaatprofielen, **met ondersteuning voor slechts twee architecturen, Hopper en Blackwell**. Het document noemt hardware-afhankelijkheid een noodzakelijk kwaad van floating-pointprotocollen en waarschuwt dat elke tolerantie bij verificatie grinding-aanvallen uitlokt. Op 12 november legden de mainnetparameters van de fp8-scheme-branch geen activeringshoogte vast. Onder het huidige concept worden de RTX 40-serie, de A100 en AMD-kaarten niet toegelaten, terwijl een model van prlstats met lage betrouwbaarheid schat dat ongeveer 82% van de hashrate van consumentenkaarten komt. De fork doordrukken riskeert een splitsing van de chain of verzet onder miners.

Een trilemma van getalformaten

Pearl staat voor een trilemma: een getalformaat kan nuttig zijn voor AI (FP8 of FP4), bit-exact verifieerbaar over hardware heen, en hardwareneutraal, maar hooguit twee van de drie. Het INT7-schema is verifieerbaar en neutraal, maar wijkt af van de richting van AI-silicium. FP8 met een whitelist is nuttig en verifieerbaar, maar bindt de consensus aan één leverancier. FP8 met een tolerantie is nuttig en neutraal, maar opent de deur voor grinding-aanvallen. Floating-pointrekenwerk in tensorcores volgt doorgaans geen numerieke standaard en is niet reproduceerbaar over generaties heen; op Hopper behoudt FP8-accumulatie bijvoorbeeld slechts 13 fractionele bits en

wordt er afgekapt. Vanuit het oogpunt van een chipontwerper is een “Hopper-profiel” een volledig bepaalde rekenkunde die een ASIC bit voor bit zou kunnen implementeren, misschien efficiënter dan de GPU. Maar dat zou zakendoen in een grijze zone zijn, tegen de verklaarde bedoeling van het protocol in, met een zeer hoog governancerisico analyse.

Governance

De governance is geconcentreerd. Het lab schreef elk protocolvoorstel; forks worden geactiveerd op hardgecodeerde hoogtes zonder signalering door miners; er is geen tweede client-implementatie; en begin oktober was er geen audit door derden van de node of de zero-knowledge-circuits gepubliceerd. De Israëlische krant TheMarker meldde dat het lab ongeveer $120–130 miljoen ophaalde in een stealthronde (ongeveer $55 miljoen aan aandelenkapitaal plus een GPU-infrastructuurfonds van ongeveer $75 miljoen); Pearl heeft dit niet via officiële kanalen bevestigd. “Geen allocatie voor investeerders in de token” en “een bedrijf met durfkapitaalaandeelhouders” kunnen allebei waar zijn, maar de spanning blijft: AI-omzet kan naar aandelen vloeien terwijl de verwatering bij tokenhouders terechtkomt.

Alles bij elkaar is Pearl tot nu toe het zuiverste experiment met “rekenkracht als consensus”: een nieuw mechanisme, on-chain verifieerbaar, met een eenheid die één op één overeenkomt met AI-hardware. Maar het nut is er nog niet, en het beveiligingsbudget, de hashrate en het enthousiasme van miners hangen allemaal af van een token waarvan de belangrijkste vraag nog moet ontstaan en waarvan het aanbod in 12 maanden met ongeveer 78% groeit. Drie signalen van Blockworks zijn het volgen waard: of de upgrade soepel landt, of het aandeel blokken met AI-werk wezenlijk stijgt, en of een inferentieaanbieder mininginkomsten doorgeeft aan zijn klanten.

HOOFDSTUK 05

CHAINS MET NUTTIG WERK

05 Chains met nuttig werk: matrices noch zero knowledge houden ASIC’s tegen

Kaspa: een matrix is nuttig noch ASIC-bestendig

Kaspa is het schoolvoorbeeld. Zijn kHeavyHash plaatst een matrix-vectorproduct van 64 × 64 over 4-bitswaarden tussen twee hashes, en het product wordt weggegooid. Ongeveer 16 maanden na de fair launch in november 2021 kondigde IceRiver op 14 maart 2023 de eerste Kaspa-ASIC’s aan, en eind 2023 was GPU-mining voorbij. Een vergelijking van een RTX 4090 op 3,8 GH/s en 300 W met de KS7 van Bitmain op 77 J/TH geeft een efficiëntiekloof van ongeveer **1.000 keer** schatting. Na het feest kwam de krimp: op 13 november draaide het netwerk op 358,9 PH/s, ongeveer 64% onder de 1 EH/s van augustus 2024, en de beste KS7 verdient slechts **$0,86 per dag** bij $0,10 per kWh.

Aleo: ook zero knowledge houdt speciale hardware niet tegen

De proverpuzzel van Aleo is ontworpen om het werk van het genereren van een SNARK-bewijs na te bootsen; ze bewijst geen transacties van gebruikers, en het project verwelkomt ZK-ASIC’s openlijk. Ongeveer vijf maanden na het mainnet van september 2024 werden speciale machines geleverd. In het derde kwartaal van 2025 ontvingen provers 31,2 miljoen ALEO (ongeveer $7,8 miljoen), terwijl het netwerk slechts ongeveer $43.000–44.000 aan fees ophaalde: **een subsidiemultiple van ongeveer 175–180**. De prijs daalde van ongeveer $9 in de eerste handel

naar $0,22 aan het eind van dat kwartaal, en ARC-46 vereist nu een stake van 100.000 tot 2,5 miljoen ALEO per oplossing, waardoor minen een stakingdrempel wordt.

Qubic en Bittensor

Qubic presenteert “useful proof of work” dat zijn neurale netwerk Aigarth traint, maar de zichtbaarste uitkomst van zijn rekenkracht in 2025–2026 waren blokken van andere chains. Eerst minede het Monero, verhoogde het zijn aandeel van minder dan 2% half mei 2025 naar meer dan 25% eind juli en claimde het in augustus 51%, wat een reorganisatie van zes blokken veroorzaakte (een andere bron zegt 18). Op 1 april 2026 schakelde het over op het minen van Dogecoin met ASIC’s, met de opbrengst voor terugkopen en burns. Er is geen onafhankelijk bewijs dat zijn AI-training nuttig is, en zijn marktwaarde daalde van ongeveer $280–300 miljoen naar ongeveer $50 miljoen op 13 november. Het legde ook een externaliteit bloot: een chain die betaalt voor rekenkracht voor algemeen gebruik, creëert een grote, huurbare, gecoördineerde pool van hashrate die tegen CPU-vriendelijke chains kan worden ingezet.

Bittensor is geen proof of work maar stakegewogen subjectieve scoring: validators beoordelen miners, en gewichten worden afgekapt op de stakegewogen mediaan. Het is het enige netwerk in deze groep met externe omzet op schaal. De SubConnect-index, die alleen verifieerbare externe klanten telt, toont begin november 2026 ongeveer **$70 miljoen per jaar** (ongeveer $35 miljoen op 1 september), waarvan 78% tot 82% uit rekenkracht en infrastructuur; maar tegen prijzen van begin november overstijgen de emissies $300 miljoen per jaar, zodat de omzet slechts 9% tot 23% dekt. Omzetschattingen lopen sterk uiteen naargelang de grondslag, van ongeveer $17 miljoen (Artemis) tot $172 miljoen op jaarbasis uit zelf gerapporteerde totalen. In april verbrandden 67 van de 128 subnets meer dan 99% van hun incentives, en toen het leidende team Covenant vertrok vanwege governance, daalde TAO binnen enkele uren met 24%.

De geschiedenis geeft hetzelfde antwoord

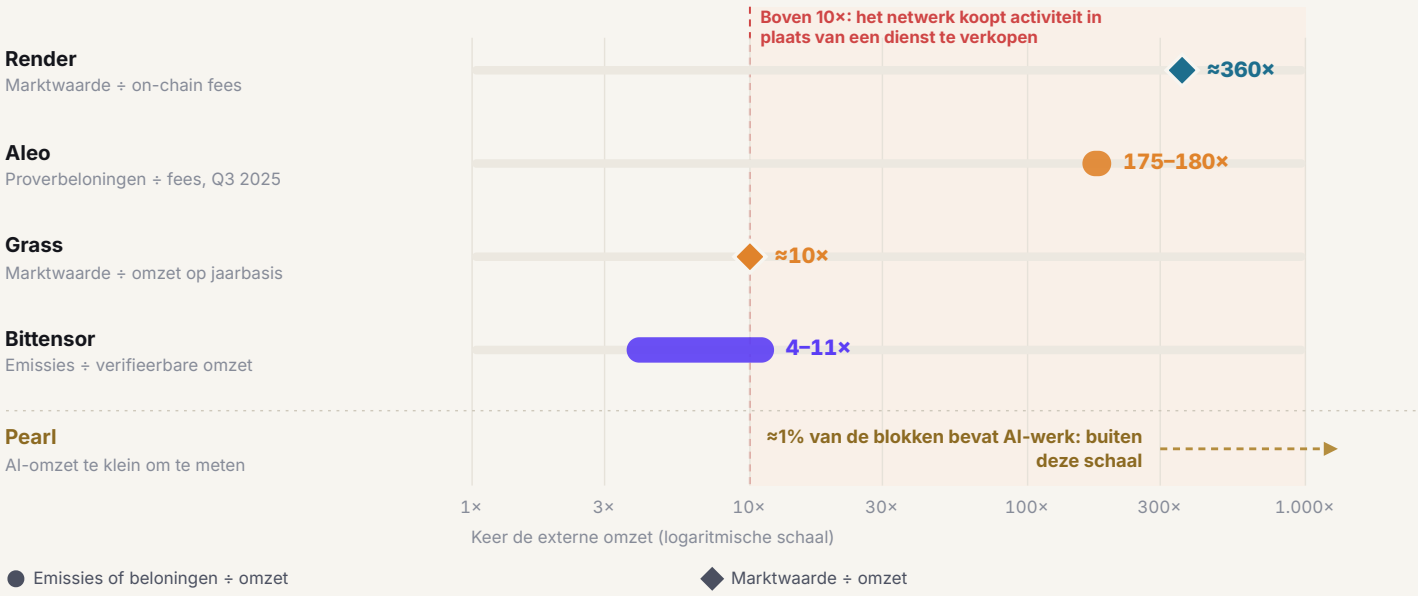
De priemketens van Primecoin waren snel te verifiëren, maar niemand had ze nodig. Gridcoin vertrouwde op statistieksites van derden om BOINC-bijdragen te bevestigen, en onderzoekers vervalsten blokken zonder enige berekening uit te voeren. De opslagbewijzen van Filecoin werken technisch, maar in het derde kwartaal van 2025 was de benutting slechts 36%, en 99,5% van de $793.000 aan fees bestond uit boetes, met basisfees van slechts $4.100.

Project	Werk of consensus	Marktwaarde (datum)	Hardwarepad	Betaalde vraag tegenover subsidie	Oordeel
Pearl	Ruisige matrixvermenigvuldiging (INT7-MAC plus ZK-certificaat)	Ongeveer $500 miljoen (13 november)	GPU’s; het FP8-concept zou Hopper en Blackwell op een whitelist zetten	Ongeveer 1% van de blokken met AI-werk; minerinkomsten grotendeels subsidie	Het geloofwaardigste mechanisme; vraag onbewezen
Kaspa	kHeavyHash (een matrix-vectorproduct van 64 × 64, 4 bits, tussen hashes)	Ongeveer $840 miljoen (13 november)	ASIC’s ongeveer 16 maanden na de lancering; nu volledig ASIC	Claimt geen nut; mineromzet ongeveer $18 miljoen per jaar schatting	Een matrix is nuttig noch ASIC-bestendig
Aleo	Synthetische SNARK-puzzel plus proof of stake	Ongeveer $118 miljoen (eind Q3 2025)	Speciale machines na ongeveer vijf maanden	Proverbeloningen ongeveer 175–180 keer de fees	Synthetisch werk, gedreven door subsidie
Qubic	“uPoW” (claimt Aigarth te trainen)	Ongeveer $50 miljoen (13 november)	CPU en GPU; ASIC’s voor Dogecoin sinds april 2026	Geen onafhankelijk bewijs van nut; rekenkracht gebruikt voor externe mining en terugkopen	Bundeling van rekenkracht verpakt in een AI-verhaal

Project	Werk of consensus	Marktwaarde (datum)	Hardwarepad	Betaalde vraag tegenover subsidie	Oordeel
Bittensor	Yuma-consensus (stakegewogen scoring)	Ongeveer $2,55 miljard (11 november)	GPU's voor algemeen gebruik; geen ASIC-pad	Ongeveer $70 miljoen per jaar aan verifieerbare omzet tegenover meer dan $300 miljoen aan emissies	De enige met externe omzet op schaal; nog steeds 4–11 keer subsidie
Filecoin (referentie)	Bewijzen van replicatie en ruimtetijd	Ongeveer $1,5 miljard (eind Q3 2025)	—	Benutting 36%; basisfees per kwartaal $4.100	Nuttig, maar te weinig vraag

FIG. 04 **De subsidiemultiple: hoeveel keer de externe omzet een netwerk betaalt**

Emissies of marktwaarde gedeeld door omzet van buiten het netwerk, logaritmische schaal



Bron: Blockworks (Aleo Q3 2025), DefiLlama (fees van Render), CoinGecko, hoge.gg (Bittensor), Dealroom (Grass), Blockworks 0xResearch (Pearl); berekening van de auteur.

De les voor hardware: vast, regelmatig werk dat in een liquide token wordt betaald, krijgt binnen ongeveer 3 tot 16 maanden ASIC's, vaak van uitdagers vóór de gevestigde spelers. Claims van "nut" hielden alleen stand waar een externe klant voor de uitkomst betaalt. En de belangrijkste oorzaken van gestrande hardware zijn een hoge subsidie ten opzichte van de omzet en controle van de ontwikkelaars over de werkfunctie.

HOOFDSTUK 06

HET BREDERE LANDSCHAP

06 De rest van AI × crypto: echte maar kleine vraag, en waarde die naar aandelen verschuift

Gedecentraliseerde markten voor rekenkracht

Gedecentraliseerde rekenkracht heeft betalende klanten, maar de vraag is klein, geconcentreerd en bestaat grotendeels uit doorverkoop van inferentie op open modellen. On-chain verifieerbare fees zijn klein: DefiLlama toont over het afgelopen jaar ongeveer $2,35 miljoen aan fees voor Render en ongeveer $680.000 voor Livepeer, en de hele DePIN-sector verdiende in 2025 slechts ongeveer $72 miljoen aan on-chain omzet. Zelf gerapporteerde cijfers zijn groter maar losjes gedefinieerd: Aethir meldt “meer dan $127,8 miljoen” omzet over boekjaar 2025 zonder te zeggen of dat bruto facturatie of het aandeel van het protocol is. Tokenwaarden en omzet zijn in beide richtingen uit elkaar gegroeid: de marktwaarde van Render is ongeveer 360 keer de on-chain fees, terwijl de marktwaarde van Aethir van ongeveer $87,7 miljoen onder de zelf gerapporteerde omzet ligt schatting.

De claim van 70% tot 85% goedkoper zijn houdt alleen stand tegenover de on-demandprijzen van de hyperscalers. Op 3 november was de gewogen gemiddelde H100-prijs op Akash ongeveer **$2,73 per GPU-uur** (bereik $2,04–3,16), onder ongeveer $6,88 bij AWS en $11,06 bij Google Cloud, maar boven ongeveer $1,73 bij Vast.ai, $1,99 in de community cloud van RunPod en ongeveer $2,44 voor een reservering van een jaar (prijzen op andere platforms zoals afgelezen op 12 september; Akash, de uitgever, is een belanghebbende partij). De vraag bestaat grotendeels uit standaardinferentie die via OpenRouter wordt verspreid, ongeveer 1,7 miljard tokens per dag op AkashML en meer dan 4 miljard op io.net, in rechtstreekse concurrentie met elke neocloud. De grootste dollars in “gedecentraliseerde rekenkracht” centraliseren zich opnieuw: Axe Compute, dat de token van Aethir als treasury-bezit aanhoudt, tekende een vijfjarig contract ter waarde van $1,5 miljard om zijn eigen cluster van 9.200 B300’s te verhuren, tegenover een omzet van $35.000 in het eerste kwartaal van 2026.

Gedecentraliseerde training en inferentie

Training via het internet is aangetoond op 8 tot 40 miljard parameters. Pluralis-8B trainde 40 dagen op 330 nodes, grotendeels consumenten-GPU’s, en bereikte 63% van de efficiëntie van een centrale H100-basislijn, al geeft de paper toe dat de run niet gedecentraliseerd was en de eigen nodes van Pluralis en een toelatingsautoriteit nodig had. Psyche van Nous Research voltooide de pretrainingrun Consilience met 40 miljard parameters. Op frontierschaal centraliseerde het werk zich opnieuw: INTELLECT-3 van Prime Intellect, een mixture-of-experts-model met 106 miljard parameters, werd in twee maanden getraind op 512 H200’s verbonden via InfiniBand van 400 Gbps. De beperkingen zijn duidelijk: nodes hebben minstens 200 Mbit/s bandbreedte en ongeveer 100 keer communicatiecompressie nodig, en vertrouwen en verificatie hangen nog af van de bevoorrechte rollen van de operator.

Het geld ging naar bedrijven met aandelenkapitaal die centrale producten verkopen. Prime Intellect had meer dan $100 miljoen omzet op jaarbasis voordat het in juli $130 miljoen ophaalde tegen een waardering van $1 miljard; Venice, een privé-inferentieapp, meldt sinds het eerste kwartaal van 2026 meer dan $70 miljoen omzet op jaarbasis en winst (cijfers van het bedrijf), haalde $65 miljoen op tegen een waardering van $1 miljard en draait op geleasde GPU’s. Aan de tokenkant is het kerntrainingsnetwerk van Gensyn nog steeds “nader te bepalen” en is

de token ongeveer $17,2 miljoen waard; de token van Ritual, een AI-native layer-1, daalde na het mainnet 72% vanaf het hoogtepunt (alleen kopregel).

Verifieerbare AI

De productie koos voor trusted execution environments (TEE's). Confidential computing op Hopper voegt minder dan 7% overhead toe aan typische LLM-query's en vrijwel niets bij grote modellen; de productieoverhead van Phala is ongeveer 0,5% tot 5%, maar eind 2025 betaalden 398 van de 10.004 gebruikers. De vertrouwensbasis van een TEE is de chipleverancier: TEE.fail, bekendgemaakt in oktober 2025, gebruikte een DDR5-businterposer van minder dan $1.000 om attestatiesleutels te onttrekken aan volledig bijgewerkte Intel TDX- en AMD SEV-SNP-machines, wat op zijn beurt de GPU-confidential computing van NVIDIA ondermijnt, en beide leveranciers zeggen dat fysieke aanvallen buiten hun dreigingsmodel vallen. Dat is precies de situatie van DePIN, waar nodeoperators fysieke toegang hebben. zkML kan nu een volledig LLM bewijzen: DeepProve van Lagrange bewijst GPT-2 met ongeveer 174 tokens per minuut en Gemma 3 met ongeveer 86, ordes van grootte verwijderd van productie-inferentie en zonder bekendgemaakt betaald gebruik.

Agentbetalingen en data

x402 is het beste waarschuwende voorbeeld. TRM Labs telt sinds mei 2025 ongeveer 198,9 miljoen transacties en $52,7 miljoen afgewikkeld door bekende facilitators, 99,6% in USDC; na het verwijderen van zelfbetalingen, batchstromen en verkopers met minder dan tien kopers is het aandeel dat werkelijk door agents wordt geïnitieerd slechts 0,6% tot 7,5%, **ongeveer $5.000–11.000 per maand**. Artemis oordeelt dat meer dan 95% van de activiteit protocolsignalering is in plaats van kopen en verkopen. Intussen worden de rails gestandaardiseerd door gevestigde spelers: de x402 Foundation werd op 14 juli opgericht onder de Linux Foundation, met Visa, Mastercard, Stripe, Google, AWS, Cloudflare en Coinbase als kernleden, en Tempo, dat samen met Stripe het Machine Payments Protocol schreef, lanceerde in maart zijn mainnet tegen een waardering van $5 miljard. Platforms voor agenttokens draaien nog op launchpadlogica: Virtuals meldt zelf $479 miljoen aan "aGDP", en de oprichter van ElizaOS verklaarde de token dood na een schikking in een class action. Waarde wordt eerder gevangen door uitgevers van stablecoins en gevestigde betaalpartijen; de onderscheidende rol van crypto hier kan identiteit en aansprakelijkheid voor agents zijn.

Data is een van de weinige subsectoren met echte kopers buiten de chain. Grass meldt $17 miljoen aan data-omzet in 2025 en nog eens $17 miljoen in de eerste helft van 2026, mikt op $75 miljoen voor het jaar en zegt winstgevend te zijn; GRASS is ongeveer $328 miljoen waard, ongeveer tien keer de omzet van de eerste helft op jaarbasis schatting. Zijn slotgracht is de verzamelschaal van gedistribueerde residentiële bandbreedte, niet crypto zelf. Data-DAO's en datamarktplaatsen missen zichtbare betaalde vraag: Vana is ongeveer $21,5 miljoen waard en Ocean ongeveer $27,6 miljoen, en Ocean is in een rechtszaak verwikkeld met Fetch.ai. Proof of personhood krijgt echte integraties nu agents zich vermenigvuldigen: World zegt bijna 18 miljoen mensen te hebben geverifieerd, en Zoom, Docusign en Tinder ondersteunen delen van World ID.

Het kapitaal heeft gestemd

Sector	Verifieerbare betaalde vraag	Signalen van subsidie en waardering	Oordeel
Chains met nuttig werk	Bittensor ongeveer $70 miljoen per jaar aan verifieerbare externe omzet; Pearl ongeveer 1% van de blokken met AI-werk	Aleo 175–180 keer; Bittensor 4–11 keer; Pearl grotendeels subsidie	De mechanismen hebben waarde; nut vraagt betalende klanten
Gedecentraliseerde markten voor rekenkracht	On-chain fees ongeveer $0,68–2,35 miljoen per jaar (Livepeer, Render); zelf gerapporteerd $4–128 miljoen	Marktwaarde van Render ongeveer 360 keer de fees	Echt maar klein, grotendeels doorverkoop van standaardinferentie

Sector	Verifieerbare betaalde vraag	Signalen van subsidie en waardering	Oordeel
Gedecentrali-seerde training en inferentie	Bedrijven met aandelenkapitaal: Prime Intellect meer dan $100 miljoen per jaar, Venice meer dan $70 miljoen (centrale infrastructuur)	Trainingsmainnet van Gensyn niet live; token van Ritual −72% vanaf het hoogtepunt	Technische vooruitgang is echt; winst gaat naar aandelen
Verifieerbare AI	TEE's in productie (398 betalende gebruikers bij Phala); geen bekendgemaakte betaalde zkML	—	TEE's nuttig; zkML vroeg
Agentbetalingen	Door agents geïnitieerde stromen ongeveer $5.000–11.000 per maand	Ongeveer 200 miljoen transac-ties, grotendeels signalering en speculatie	Eerst de rails, later de vraag
Datanetwerken	Grass $17 miljoen in H1 2026 (zelf gerapporteerd)	GRASS ongeveer 10 keer de omzet op jaarbasis	Een van de weinige sec-toren met echte kopers

Zet de zes sectoren naast elkaar en de conclusie is consistent: **subsidie is brandstof voor een koude start, geen verdienmodel.** Op 13 november was de AI-categorie van CoinGecko in totaal ongeveer $18,6 miljard waard, maar ongeveer 56% daarvan bestaat uit layer-1's voor algemeen gebruik zoals NEAR en ICP, plus projecten op consen-susniveau zoals TAO, gestakete TAO (mogelijk dubbel geteld met TAO) en Pearl; AI-tokens op protocol- en appli-catielaag komen samen uit op ongeveer $8 miljard of minder schatting. Dat is ongeveer de gezamenlijke waarde-ring van vier bedrijven met aandelenkapitaal: Tempo ($5 miljard), Nous (naar verluidt $1,5 miljard), Prime Intellect ($1 miljard) en Venice ($1 miljard). Durfkapitaal voor crypto zit vast op ongeveer $4,5–5 miljard per kwartaal, waarbij de toename komt van AI-gerelateerde infrastructuur, waarvan het aandeel in de bekendgemaakte bedra-gen in het derde kwartaal van 2026 steeg van 8,1% naar 18,2%; en 84,7% van de 118 tokens die in 2025 werden gelanceerd, noteert onder de lanceringsprijs. In één zin: **crypto doet distributie en afwikkeling, aandelen nemen de winst**, in elk geval in 2026.

HOOFDSTUK 07

07

ASIC-ECONOMIE

De ASIC-vraag: één formule, drie maatstaven

Eén formule: waarom efficiëntie na k = 5 niet meer loont

Laat R de dagelijkse omzet per eenheid rekenkracht zijn (minerinkomsten van het netwerk gedeeld door de hashrate van het netwerk), c de dagelijkse kosten van een eenheid rekenkracht op de marginale hardware (bij Pe-arl een GPU), en k hoeveel keer goedkoper een ASIC is dan die marginale hardware (c_ASIC = c/k). Zolang GPU's de marginale miners blijven, duwen vrije toe- en uittreding R richting c, dus een ASIC verdient R − c/k per eenheid rekenkracht:

Winstplafond van een ASIC ≈ R × (1 − 1/k)

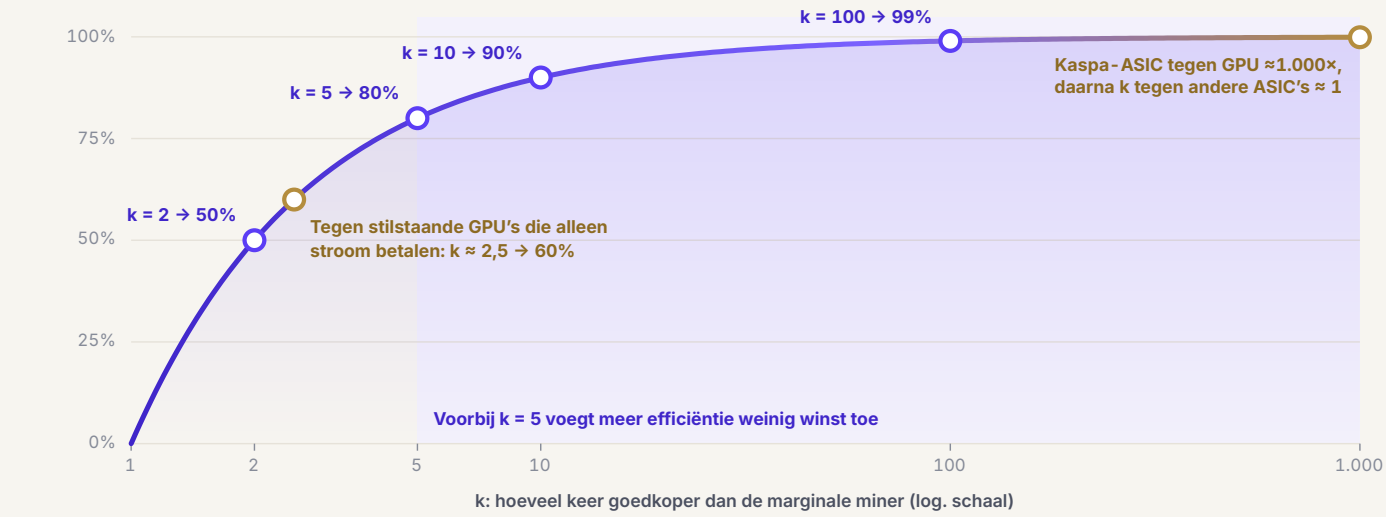
Over het hele netwerk is het jaarlijkse brutowinstplafond van een ASIC-vloot ruwweg de mineromzet van het net-werk × (1 − 1/k), en alleen totdat ASIC's de GPU's vervangen als marginale miners.

De formule heeft drie gevolgen. Ten eerste is (1 − 1/k) concaaf: bij k = 2 houdt een ASIC 50% van de omzet over, bij k = 5 80%, bij k = 10 90%, bij k = 100 99%. **Voorbij k = 5–10 voegt meer efficiëntie vrijwel geen winst toe**; de

omvang van R en van de pot beslissen. Ten tweede verschuift het referentiepunt: zodra ASIC's de marginale miners zijn, moet k worden gemeten tegen andere ASIC's. De ASIC's van Kaspa hadden een efficiëntievoordeel van ongeveer 1.000 keer ten opzichte van GPU's, wat slechts een korte meevaller opleverde; vandaag verdient de beste KS7 $0,86 per dag. Ten derde is op een GPU-vriendelijke chain als Pearl het referentiepunt vaak niet de aankoopprijs van een GPU maar de **stroom van een stilstaande GPU**: een RTX 5090 in eigen bezit op 525 W en $0,10 per kWh kost ongeveer $1,26 per dag aan stroom en verdient ongeveer $5–6 schatting. Tegenover GPU's die verzonken kosten zijn, heeft zelfs een ASIC die een vijfde van de energie verbruikt een effectieve k van slechts ongeveer 2,5 als de afschrijving gelijk is aan de stroomkosten, en een winstplafond van ongeveer 60% van R (een illustratieve aanname).

FIG. 05 **Waarom efficiëntie niet meer loont: een ASIC houdt hooguit 1 − 1/k over**

Aandeel van de omzet dat een ASIC tegenover de marginale miner kan houden, naar kostenvoordeel k



Bron: Model van de auteur: als de marginale hardware de prijs bepaalt, neigt de omzet per eenheid rekenkracht naar haar kosten; cijfers voor Kaspa en RTX 5090 uit het rapport.

Drie maatstaven: de pot, de terugverdienschaal en de regels

De eerste maatstaf is **de pot**. Op jaarbasis, uitgaande van ongeveer 2.893 BTC aan blokbeloningen in de eerste week van november (ongeveer $222 miljoen), verdienen bitcoinminers ongeveer $11,5 miljard per jaar schatting. De miners van Pearl verdienen ongeveer $0,46–0,49 miljard (tegen de huidige prijzen); de proverbeloningen van Aleo, op jaarbasis uit het derde kwartaal van 2025, ongeveer $31 miljoen; en de miners van Kaspa, bij een blokbeloning van 1,945 KAS en tien blokken per seconde, ongeveer $18 miljoen schatting. **Een heel jaar mineromzet van Kaspa is minder dan de onderkant van één ontwerpbudget voor een chip op 5/4 nm (ongeveer $30 miljoen).**

De tweede maatstaf is **de hashrate die nodig is om de NRE terug te verdienen**:

$$h^* = \text{NRE} \div [R \times (1 - 1/k) \times T \times p]$$

waarbij T het nuttige venster in dagen is en p de kans dat de regels in dat venster ongewijzigd blijven. Neem voor Pearl R = $14 per PH/s per dag, k = 5, T = 365 dagen en een NRE van $20 miljoen (een chip met een repetitieve array op N7/N6; aan de onderkant van de bandbreedtes van $5–30 miljoen voor middenklassenodes van Silicon Analysts en $15–100 miljoen voor reken-ASIC's op 7/6 nm van AnySilicon, omdat een miningchip weinig IP en een herhaalde structuur gebruikt; mijn aanname). Met p = 1 is ongeveer **4,9 EH/s** nodig die een vol jaar draait, onge-

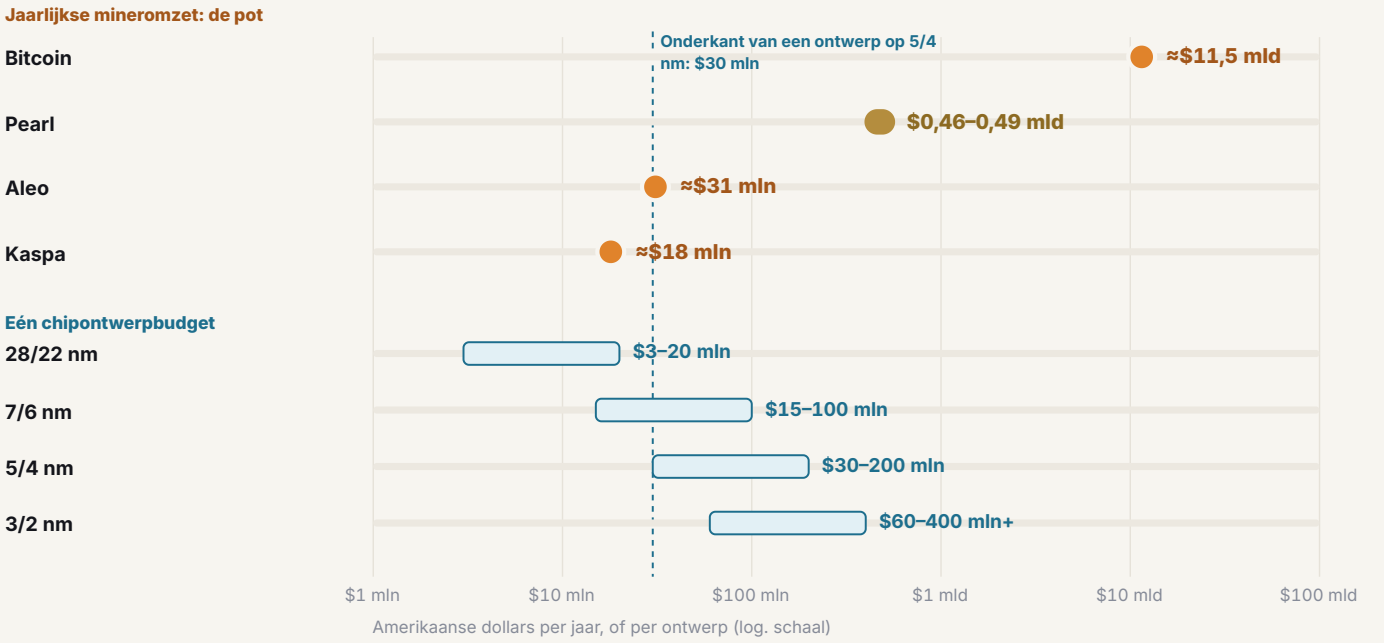
veer 5% van het netwerk; met p = 0,5 ongeveer **9,8 EH/s**, ongeveer 11%; en als R terugvalt naar het zomerniveau van ongeveer $10, is zelfs bij p = 1 ongeveer 6,9 EH/s nodig schatting. De schaal is niet onbereikbaar. Het probleem zijn p en T.

De derde maatstaf is **regelrisico**, en die is vaak doorslaggevend. De anti-ASIC-fork van Monero in 2018 liet de X3 van Bitmain stranden en kostte het netwerk kortstondig bijna de helft van zijn hashrate. De fork van Sia in hetzelfde jaar maakte de miners van Bitmain en Innosilicon onbruikbaar, terwijl de tweedehandsprijs van de Obelisk-miner, die aan de ontwikkelaars gelieerd was, steeg van $2.499 naar meer dan $5.000. Iets meer dan een maand na de Merge van Ethereum had minder dan 20% van de voormalige Ethereum-miners nieuw werk gevonden. **Wie de werkfunctie beheerst, beheerst het lot van hardware-investeerders**, en Sia laat zien dat "ASIC-bestendigheid" de eigen slotgracht van de ontwikkelaars kan worden. Hardware met een tweede markt overleeft: na de Merge verhuisden GPU's naar AI en de cloud, terwijl ASIC's voor één algoritme zich opdrongen in Ethereum Classic. Het venster krimpt ook: de eerste ASIC van Kaspa kostte ongeveer 16 maanden, die van Aleo ongeveer vijf, en de eerste die de efficiëntiegrens bereikt, is vaak een uitdager in plaats van een gevestigde speler.

Netwerk	Jaarlijkse mineromzet (ongeveer)	Marginale of referentiehardware	Stabiliteit van de regels	k beschikbaar voor een nieuwkomer	Oordeel
Bitcoin	$11,5 miljard	Bitmain S23 XP Hyd (8,9 J/TH, $25,5 per TH)	Zeer hoog	≤1	Een grote pot, maar k is van de gevestigde spelers
Pearl	$0,46–0,49 miljard (tegen de huidige prijzen)	GPU's in eigen bezit of stilstaand (marginale kosten ≈ stroom) en datacenter-GPU's	Zeer laag: vier forks in twee maanden; FP8-whitelist in behandeling	Misschien 3–10 keer in efficiëntie analyse ; lager tegenover GPU's met verzonken kosten	De pot is groot genoeg; het regelrisico spreekt een veto uit
Aleo	Ongeveer $31 miljoen (Q3 2025, op jaarbasis)	IceRiver AE2 en andere speciale machines	Gemiddeld: stakingdrempel van ARC-46	≈1	Een kleine pot, en de drempel stijgt
Kaspa	Ongeveer $18 miljoen	KS7 (77 J/TH)	Hoog	≈1	Jaaromzet onder de onderkant van één ontwerpbudget op 5/4 nm

FIG. 06 **De meeste potten zijn kleiner dan één chipontwerpbudget**

Jaarlijkse mineromzet van vier netwerken tegenover de ontwerpkosten van één chip per node, log. schaal



Bron: Hashrate Index (bitcoin, november 2026), prlstats en Kryptex (Pearl), Blockworks (Aleo, Q3 2025), minerstat (Kaspa), AnySilicon (ontwerpbudgetten, 2026); op jaarbasis gebracht door de auteur.

Het kwadrant van “grote pot, stabiele regels en k > 1” is vandaag leeg: bitcoin heeft de pot en de stabiele regels, maar zijn k is van de gevestigde spelers; de pot van Pearl is groot genoeg, maar de regels zijn het minst stabiel; Kaspa en Aleo hebben voldoende stabiele regels en potten die te klein zijn.

HOOFDSTUK 08

08 PER CHIPTYPE Vijf chiptypen, vijf antwoorden

PoUW in de stijl van Pearl: geen speciale INT7-chip; zet in op een miner die inferentie kan leveren

Het pleidooi voor een ASIC is reëel. Vandaag bevat slechts ongeveer 1% van de blokken AI-werk, dus het economische argument van de whitepaper, dat een speciale ASIC het vermogen verliest om nuttig werk te doen en daardoor minder verdient, staat juist nu op zijn zwakst. De duurste onderdelen van een GPU, HBM en CoWoS-packaging, zijn ongeveer 63% van de productiekosten van een H100, met de logica-die op slechts ongeveer 9%. Een chip die niets anders doet dan 7-bits integer-multiply-accumulates, zijn operanden in on-chip SRAM houdt en op lage spanning draait, zou aannemelijk 3 tot 10 keer de energie per bewerking van een GPU op dezelfde node kunnen halen en een groter voordeel in kosten per bewerking [analyse; nog geen metingen]. Het tegenargument weegt zwaarder. Doorlooptijden bij foundry’s op de leidende nodes kunnen meer dan 50 weken bedragen, en een nieuw team heeft ongeveer 18 tot 24 maanden nodig van start tot volume **schatting**; tegen de tijd dat een chip er is, kan Pearl best overgestapt zijn op FP8 en daarna FP4. En omdat PIP-3 de toegelaten rekenkunde definieert via een whitelist van apparaten, zou een INT7-chip simpelweg ophouden te werken zodra die wordt geactiveerd.

Mijn conclusie is dus: **tape nu geen speciale INT7-chip voor Pearl uit.** Er zijn twee betere weddenschappen. De ene is een inferentie-eerst-accelerator die ook kan minen: gebouwd rond algemene INT8/FP8-GEMM en operanden die in SRAM blijven, zodat als de toegang tot minen wordt ontzegd, de waarde terechtkomt in een echte inferentiemarkt. De andere is deelnemen aan het protocoldebat en aandringen op een leveranciersneutrale canonieke rekenkunde die een ASIC exact kan implementeren, samen met een toezegging van algoritmestabiliteit, wat de voorwaarde is voor het bestaan van het kwadrant "grote pot, stabiele regels, k > 1". Tot die tijd kan een architectuur worden gevalideerd op FPGA's of multi-project wafers (MPW) op volwassen nodes, waardoor het NRE-risico in de orde van een miljoen dollar blijft. Hoofdstuk 10 maakt hiervan een gefaseerd budget.

Miners in de stijl van bitcoin: de gevestigde spelers bezitten k, en stroom is het schaarse goed

Het regelrisico van bitcoin is het laagst, maar de concurrentie duwt de k van een nieuwkomer onder 1. De S23 XP Hyd van Bitmain haalt 8,9 J/TH, kost $25,5 per TH en wordt vanaf november geleverd; de efficiëntie van het vlaggenschip daalde van 17,5 J/TH voor de S21 in 2023 naar 8,9 J/TH, ongeveer 49% in drie jaar. Een nieuwkomer die in 2027–2028 in volume levert, zou ongeveer 8 J/TH of beter nodig hebben om stand te houden schatting. Uitdagers vertrekken: Canaan meldde over het tweede kwartaal van 2026 een omzet van $31,9 miljoen met een brutoverlies van $29,3 miljoen en verwachtte voor het derde kwartaal slechts $11–15 miljoen; de verkoop van eigen rigs aan externe kopers door Bitdeer daalde in het derde kwartaal naar $0,3 miljoen, met een brutomarge voor de groep van 3,4%; Auradine hernoemde zichzelf tot Velaura AI en stapte over op AI-chips; en Core Scientific annuleerde een order van ongeveer 15 EH/s aan 3 nm-machines bij de Proto-eenheid van Block, met een geboekt verlies van $41,9 miljoen.

Ook de vraag krimpt. Op 9 november was de hashprice ongeveer $31,89 per PH/s per dag, de termijncurve tot april 2027 lag gemiddeld op ongeveer $32,7, en fees waren slechts 0,72% van de blokbeloningen. Bij $0,045 per kWh verdient de S23 XP Hyd zich in ongeveer 3,1 jaar terug schatting, dicht bij de volgende halvering die rond 2028 wordt verwacht. Belangrijker zijn de alternatieve kosten van stroom: leases voor AI en high-performance computing leveren nu ongeveer $1,67–1,9 miljoen per gecontracteerde megawatt per jaar op, wat bij 80% tot 85% netto bedrijfsresultaat ongeveer 1,5 tot 2,9 keer de brutowinst van minen per megawatt is (ongeveer $0,56–0,9 miljoen) [schatting; de twee megawattgrondslagen verschillen]. Core Scientific stopt in het vierde kwartaal met minen; Bitfarms, nu Keel, heeft al zijn Amerikaanse mininglocaties gesloten; IREN verdiende in één kwartaal $200 miljoen met AI-cloud en slechts $28 miljoen met minen. **Stroom en datacentercapaciteit zijn de bezittingen; miningmachines zijn verbruiksgoederen.**

De NRE-rekensom is net zo genadeloos. Efficiëntie aan de frontier vraagt nu processen van de 3 nm-klasse (volgens secundaire bronnen gebruikt MicroBT Samsung SF3, en zijn de chips van Auradine en Proto 3 nm). Maskers kosten ongeveer $10–20 miljoen en de volledige NRE $30–100 miljoen of meer; bij $20–25 per TH en een brutomarge van 30% levert elke verkochte 1 EH/s ongeveer $6–7,5 miljoen brutowinst op, dus om jaarlijkse R&D op de schaal van Bitdeer te dekken, ongeveer $110–160 miljoen, moet je ongeveer 20–25 EH/s per jaar aan externe kopers verkopen, ongeveer 2% van het netwerk schatting. De conclusie: **een nieuw team moet de markt voor commerciële bitcoinminers niet betreden.** Drie gevallen zijn nog zinvol: verticale integratie met eigen goedkope stroom; nichevormen zoals thuis- en verwarmingsminers (ook Canaan lanceert verwarmingsproducten voor thuis); en deelnemen aan de roadmaps van de gevestigde spelers via IP en ontwerpdiensten.

AI-trainingschips: niet als klein team

Voor trainingschips is k het moeilijkst te verdienen. Bij dezelfde generatie en precisie loopt de Ironwood van Google in FP8-efficiëntie op chipniveau slechts ongeveer 1,1 tot 1,8 keer voor op de B300 (het vermogen van Ironwood is een schatting van een journalist) schatting; de 30 tot 80 keer die vaak uit de TPU v1-paper wordt aangehaald, werd gemeten tegen een K80, die geen tensorcores had. De echte hefboom is het getalformaat: de overstap van FP8 naar FP4 geeft op hetzelfde silicium meestal 2 tot 3 keer de doorvoer, en NVIDIA beweegt daar het

snelst: het claimt 50 PF aan NVFP4-inferentie voor Rubin, in volume in de tweede helft van 2026. De drempels voor kosten en aanbod liggen nog hoger: ontwerpbudgetten op 3/2 nm lopen op tot $60–400 miljoen of meer; de CoWoS-capaciteit in 2026 is ongeveer 106.000–130.000 wafers per maand, en TSMC zou prijsverhogingen tot 20% overwegen; bij een contractprijs van $15,6 per GB voor HBM3E kost alleen al het HBM in een accelerator van 288 GB ongeveer $4.500 schatting. Deze markt behoort toe aan co-ontwikkeling met hyperscalers in de stijl van Broadcom (hoofdstuk 11). De conclusie: **kleine teams moeten geen losse trainingschips bouwen**; bouw in plaats daarvan IP, chiplets of ontwerpdiensten.

AI-inferentiechips: ruil algemeenheid in voor k, en dat loont

Inferentie is waar ASIC's de meeste ruimte hebben, omdat k te koop is door algemeenheid op te geven. Etched claimt dat zijn server met acht chips Llama-70B draait met meer dan 500.000 tokens per seconde, ongeveer 20 keer acht H100's; Taalas legt modelgewichten vast in mask-ROM en claimt 10 keer lager vermogen en 20 keer lagere productiekosten (beide leveranciersclaim). Architecturen rond SRAM vermijden HBM en CoWoS, en hun nodes zijn beter beheersbaar: Taalas gebruikt TSMC 6 nm, en Groq ging van 14 nm naar Samsung 4 nm. Cryptodistributie helpt inferentiechips niet, aangezien gedecentraliseerde rekennetwerken vrijwel volledig op NVIDIA draaien; de ingang is de inkoopeconomie van neoclouds en de grote binnenlandse inferentiemarkt in China, waar door de staat gefinancierde datacenters binnenlandse AI-chips moeten gebruiken, de import van H200's wordt afgeknepen en Beijing wil dat grote internetbedrijven inferentie op binnenlandse chips draaien. De conclusie: **de moeite waard om te bouwen**, zolang er een duidelijke klant is en de mate van lock-in op modellen en architectuur een bewuste keuze is. Het is ook de beste tweede markt voor een PoUW-miningchip.

ZK- en FHE-accelerators: dek je in bij ZK, positioneer je vroeg op FHE

GPU's hebben realtime ZK-bewijzen al ingehaald: SP1 Hypercube van Succinct bewees 99,7% van de Ethereum-blokken in minder dan 12 seconden op 16 RTX 5090's. Cysic claimt dat zijn ZK C1-chip 10 tot 100 keer zo efficiënt is als GPU-provers en in 2026 wordt geleverd, maar de vraag komt grotendeels uit zijn eigen tokenbeloningen leveranciersclaim; ik vond geen openbaar bewijs dat ASIC's voor de Aleo-puzzel worden gebruikt voor echte ZK-bewijzen. ZK-bewijzen is integer en deterministisch, qua vorm dicht bij wat miningchips doen, maar bewijssystemen veranderen snel (SP1, RISC Zero, Halo2, Plonky2 en meer). De conclusie: **afwachten en indekken**, met programmeerbare MSM-, NTT- en hash-engines, eerst op FPGA's, daarna als ASIC's.

FHE is de primitief die het sterkst aan hardware gebonden is, met het grootste opwaartse potentieel. Heracles van Intel, op Intel 3 met 197 mm², 176 W en 48 GB HBM3, voert FHE-bewerkingen 1.074 tot 5.547 keer sneller uit dan een Xeon met 24 cores, maar Intel heeft geen commerciële plannen en de projectleider vertrok in december 2025. Niobium bouwt op Samsung 8LPU met SemiFive als ontwerppartner (een ontwikkelcontract van ongeveer $6,86 miljoen) en heeft meer dan $23 miljoen opgehaald; Optalysys, met een fotonische aanpak, haalde $31 miljoen op en zegt dat een volledige commerciële chip nog twee tot drie jaar weg is; en het opensource-FPGA-ontwerp van Zama haalt ongeveer 13.000 programmeerbare bootstraps per seconde bij ongeveer 200 W, de openbare basislijn die elke ASIC duidelijk moet verslaan. De conclusie: **positioneer je vroeg en valideer met lichte middelen**, voor een venster rond 2027–2029. De vraag zal eerder verankerd raken in versleutelde AI voor bedrijven en overheden dan in cryptovaluta zelf, en FHE heeft HBM nodig, dus de kostenstructuur lijkt op die van een trainingschip.

Chiptype	Waar k vandaan komt	Vraag en pot	NRE en drempels	Regel- of lock-inrisico	Tweede markt	Oordeel
PoUW-miningchip in de stijl van Pearl	Weglaten van HBM, CoWoS en eenheden voor algemeen gebruik: misschien 3–10 keer in J/op analyse	Minerinkomsten ongeveer $0,46–0,49 miljard per jaar, volatiel	Repetitieve array op N7/N6 ongeveer $10–30 miljoen analyse	Zeer hoog: het protocol bepaalt het getalformaat en de whitelist van apparaten	AI-inferentie, als gebouwd als algemene INT8/FP8-GEMM	Geen speciale INT7-chip; bouw inferentie-eerst en mineable, of wacht op canonieke rekenkunde
SHA-256-miningchip voor bitcoin	k ≤ 1 tegenover Bitmain	Ongeveer $11,5 miljard per jaar, commerciële markt in handen van twee bedrijven	Maskers voor de 3 nm-klasse $10–20 miljoen; volledige NRE $30–100 miljoen of meer	Laag (stabiel algoritme); hoog risico op concurrentie en halvering	Vrijwel geen (één algoritme)	Nieuwkomers blijven weg uit de commerciële markt; alleen eigen stroom, nichevormen of IP
AI-trainingschip	Systolische arrays van dezelfde generatie slechts 1,1–1,8 keer; het formaat is de hefboom	Het grootst (Broadcom ongeveer $58 miljard aan AI-halfgeleideromzet in boekjaar 2026)	Ontwerp op 3/2 nm $60–400 miljoen of meer; CoWoS en HBM	De jaarlijkse cadans van NVIDIA	—	Kleine teams bouwen IP, chiplets en ontwerpdiensten, geen losse chips
AI-inferentiechip	Algemeenheid opgeven: 10–20 keer geclaimd leveranciersclaim	Groot en versnipperd; de binnenlandse markt van het Chinese vasteland is op zichzelf groot	SRAM-architecturen op N6/N7–N4 zijn beheersbaar	Lock-in op modellen en architectuur	Het is de hoofdmarkt	De moeite waard: teken de klant, kies dan de lock-in
ZK-accelerator	10–100 keer GPU's geclaimd leveranciersclaim	Klein, grotendeels gedreven door tokenbeloningen	N7/N6 en daarna N5; eerst FPGA	Bewijssystemen veranderen snel	Beperkt buiten ZK	Afwachten en indekken: programmeerbare MSM- en NTT-engines
FHE-accelerator	1.074–5.547 keer een Xeon (Heracles)	Nog niet gevormd; verankerd bij bedrijven en overheid	Heeft HBM nodig; kostenstructuur dicht bij trainingschips	Standaarden en ecosysteem onbeslist	Versleuteld rekenen, privé-AI	Vroeg positioneren, valideren met lichte middelen; venster 2027–2029

FIG. 07 **Vijf chiptypen, vijf antwoorden**

Waar het kostenvoordeel k vandaan komt, waar het silicium heen kan als de regels veranderen, en het oordeel



PoUW-miningchip à la Pearl

NIET NU

k: geen HBM of algemene eenheden: 3–10× per bewerking (afgeleid)

Tweede markt: AI-inferentie, bij algemene INT8/FP8-GEMM

Zet in op een inferentie-eerst-chip die kan minen, geen speciale INT7-chip



SHA-256-miningchip voor bitcoin

WEGBLIJVEN

k: ≤1 tegen de gevestigde spelers

Tweede markt: vrijwel geen

Alleen met eigen stroom, in een nichevorm of als IP



AI-trainingschip

IP, GEEN CHIPS

k: 1,1–1,8× bij dezelfde precisie

Tweede markt: —

Packaging en HBM beslissen; bouw IP, chiplets, diensten



AI-inferentiechip

BOUWEN

k: algemeenheid opgeven: 10–20× geclaimd

Tweede markt: het is de hoofdmarkt

Teken de klant, kies dan de lock-in



Accelerator voor ZK-bewijzen

AFWACHTEN

k: 10–100× GPU's geclaimd

Tweede markt: beperkt buiten ZK

Programmeerbare MSM- en NTT-engines; eerst FPGA



FHE-accelerator

VROEG POSITIONEREN

k: 1.074–5.547× een Xeon (Heracles)

Tweede markt: versleuteld rekenen, privé-AI

Een venster in 2027–2029; valideer met lichte middelen

Bron: Synthese van de auteur uit hoofdstuk 7 en 8; leverancierscijfers zoals gemarkeerd in het rapport.

HOOFDSTUK 09

09

PROCESNODES

Procesnodes: laat de grootste levensduurkost kiezen

De kostenladder: wafers aan de leidende rand kosten tien keer zoveel als volwassen wafers

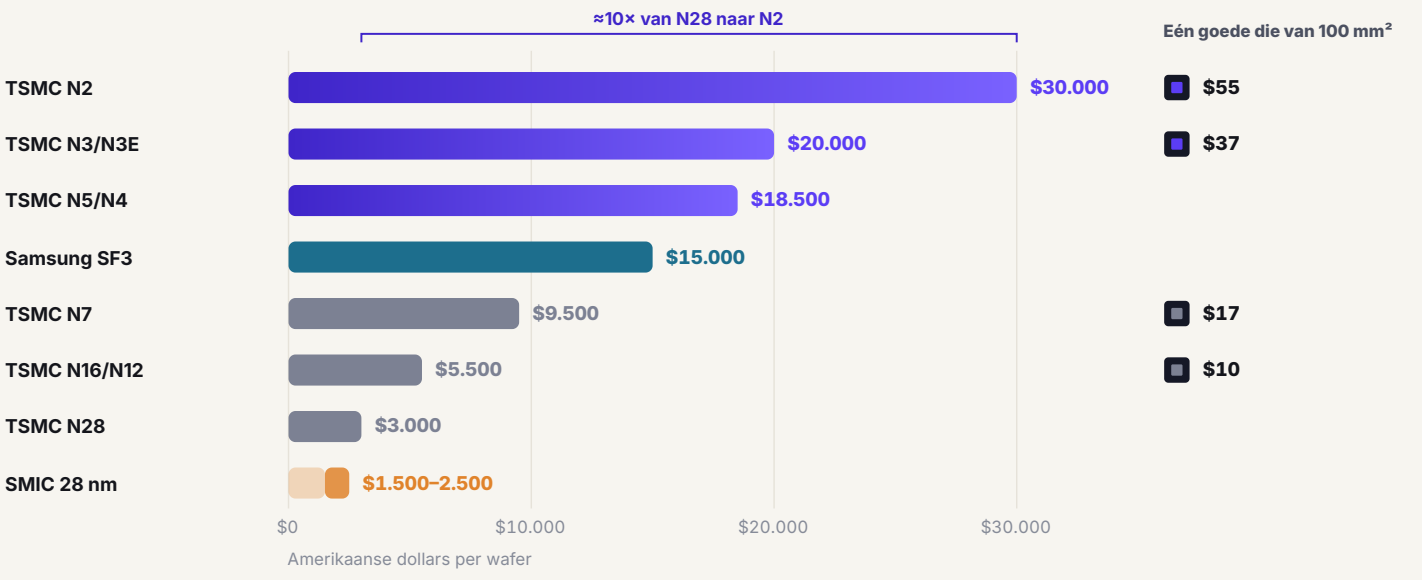
Begin bij het grootboek. Een wafer aan de leidende rand kost nu ongeveer tien keer zoveel als een volwassen wafer: TSMC N2 ongeveer $30.000, N3 ongeveer $20.000, N7 ongeveer $9.500 en N28 ongeveer $3.000; Samsung SF3 ongeveer $15.000, ongeveer 25% onder N3; en de productiekosten van SMIC voor de 7 nm-klasse zouden 40% tot 50% boven die van TSMC liggen. TSMC zou vanaf januari 2027 de prijzen met nog eens 3% tot 6% verhogen, het meest voor 2 nm en 3 nm. Maskers en ontwerpkosten verschillen nog sterker, en bronnen zijn het oneens, dus de tabel toont beide.

Node	Waferprijs (schatting)	Maskerset (modelwaarde / richtbereik)	Ontwerpbudget (AnySilicon)	MPW (per project)
TSMC N2	Ongeveer $30.000	—	3/2 nm: $60–400 miljoen of meer	—
TSMC N3/N3E	Ongeveer $20.000 ($18.000–27.000)	$15 miljoen / $10–20 miljoen	Zoals hierboven	—

Node	Waferprijs (schatting)	Maskerset (modelwaarde / richtbereik)	Ontwerpbudget (AnySilicon)	MPW (per project)
Samsung SF3	Ongeveer $15.000 ($13.000–17.000)	$12 miljoen	—	—
TSMC N5/N4	Ongeveer $18.500 ($16.000–21.300, lage betrouwbaarheid)	$6,5 miljoen / $10–20 miljoen	5/4 nm: $30–200 miljoen	—
TSMC N7	Ongeveer $9.500 ($8.100–10.900)	$3,5 miljoen / $5–10 miljoen	7/6 nm: $15–100 miljoen	Commercieel $100.000–500.000
TSMC N16/N12	Ongeveer $5.500	$1,8 miljoen	16/12 nm: $6–40 miljoen	Academisch ongeveer $35.000 per mm²
TSMC N28	Ongeveer $3.000	$1 miljoen / $1–3 miljoen	28/22 nm: $3–20 miljoen	Commercieel $50.000–150.000; academisch ongeveer $12.000 per mm²
SMIC 28 nm	$1.500–2.500	—	—	—
SMIC 7 nm-klasse (N+2/N+3)	40–50% boven TSMC	—	—	—

FIG. 08 **Een wafer aan de leidende rand kost tien keer een volwassen wafer**

Geschatte prijs per wafer van 300 mm per node, en de kosten van één goede die van 100 mm² bij 85% yield



Bron: Waferprijzen van Silicon Analysts (schattingen, N5 lage betrouwbaarheid), Wccftech (SMIC); diekosten zijn een berekening van de auteur met een aangenomen yield.

Dan de fysica. De klassieke metingen van Horowitz laten zien dat een programmeerbare instructie ongeveer 70 pJ kost, terwijl de rekenbewerking zelf een paar picojoule kost: **rekenen is goedkoop en overhead is duur**, en dat is de reden dat systolische arrays en speciale chips bestaan. Een halvering van de structuurgrootte halveert ruwweg de energie per bewerking, maar de voedingsspanning is blijven steken rond 0,9–1,1 V. Een N2-wafer kost 50% tot 67% meer dan N3, dus tenzij de dichtheid met meer dan ongeveer 1,5 keer stijgt, gaan de kosten per

transistor omhoog in plaats van omlaag schatting: leidende nodes moeten zichzelf terugbetalen via efficiëntie en prestaties. Voor een die van 100 mm² bij 85% yield zijn de kosten van elke goede die ongeveer $55 op N2, $37 op N3, $29–34 op N5, $17 op N7 en $10 op N16 [schatting; de yield is een aanname].

Een node kiezen per chiptype en team

Mijn regel is: **laat de grootste post in de levensduurkosten van de chip de node kiezen.** Voor rekenchips die dag en nacht volledig belast draaien (mining, ZK), domineert stroom de levensduurkosten, dus zodra het algoritme stabiel is, moeten ze naar N5/N4 en N3/SF3; zolang het algoritme onbeslist is of het geld krap, valideer dan eerst op MPW op een volwassen node. Voor trainingschips is de bottleneck packaging en geheugen (HBM en CoWoS zijn ongeveer 63% van de stuklijst van een H100), dus de node is bijzaak. Voor inferentiechips is de eerste beslissing de geheugenarchitectuur: ontwerpen rond SRAM kunnen op N6/N7 tot N4 blijven, terwijl HBM-ontwerpen de kostenstructuur van trainingschips erven. FHE is gebonden aan geheugenbandbreedte en kan HBM niet vermijden.

Chiptype	Start-up of klein team	Opgeschaald bedrijf	Pad op het Chinese vasteland	Kernpunten
PoUW-mining-chip voor matrixvermenigvuldiging (in SRAM, zonder HBM)	Prototype op MPW op 28 nm of 16/12 nm; eerste volume op N7/N6; N5/N4 zodra algoritme en omzet stabiel zijn; dies van 50–150 mm² in standaard-flip-chippackages	N3/N3E of Samsung SF3	SMIC N+1/N+2 is werkbaar (geen HBM of CoWoS nodig), tegen ongeveer 40–50% meer per goede die	Energie domineert; protocolregels zijn het grootste risico
SHA-256-miningchip	Jaag niet op de frontier; nichevormen kunnen volwassen nodes gebruiken	3 nm-klasse; gevestigde spelers gaan van TSMC 5 nm naar 2 nm en van Samsung SF3 naar 2 nm (secundaire bronnen)	Moeilijk om de efficiëntie van leidende nodes te evenaren	Stroomprijs en de halveringscyclus bepalen de marges
AI-trainingschip	Geen losse chip: IP, chiplets, ontwerpdiensten	N3P en daarna N2/A16; 2–8 chiplets; leg CoWoS en HBM vroeg vast	SMIC N+2/N+3 met binnenlands HBM (het Huawei-model); FP8 per chip ongeveer 0,2–0,5 keer die van NVIDIA, gecompenseerd door systeemschaal	Packaging en HBM zijn de bottleneck
AI-inferentiechip	Rond SRAM of vastbedraad, N6/N7 of N4/N5/SF4; alleen INT8, FP8 en FP4	N3/N2 met HBM (lange context, mixture of experts), of SRAM met meerdere chiplets	SMIC N+2 met LPDDR of GDDR; geheugen van HBM-klasse is het knelpunt	De mate van architecturale lock-in is de centrale beslissing
ZK-accelerator	Begin op FPGA of MPW op 16/12 nm; daarna N7/N6 en N5	N5/N3	SMIC N+1/N+2 is werkbaar	Integer en deterministisch; makkelijk te verifiëren
FHE-accelerator	FPGA (tegen de opensource-basislijn) of MPW op 16/12 nm; volume vraagt HBM	N5/N3 met HBM	Beperkt door toegang tot HBM	Geheugenbandbreedte, niet rekenkunde, bepaalt de snelheid

Geavanceerd of volwassen, vier soorten foundry, en chiplets

Optie	Belangrijkste sterke punten	Belangrijkste zwakke punten	Het best voor
Leidende nodes (N3/N2, SF3/SF2, Intel 18A)	Elke volledige node halveert ruwweg de energie per bewerking; dicht SRAM	Wafers 3–10 keer, maskers 5–15 keer en ontwerpbudgetten 10–20 keer die van volwassen nodes; doorlooptijden van meer dan 50 weken; kosten per transistor op N2 kunnen stijgen	Rekenchips met stabiele algoritmen die dag en nacht draaien; trainingschips
Volwassen en middenklassenodes (N7/N6, N16/12, N28)	Maskers in de orde van een miljoen dollar, goedkope MPW, snelle iteratie, veel foundry's (TSMC, UMC, GlobalFoundries, SMIC)	Niet-concurrerende efficiëntie bij volledige belasting dag en nacht	Prototypes, nichemarkten, edge-inferentie
TSMC	De beste yield en het beste ecosysteem	De hoogste prijzen; capaciteit op N2/N3 krap; lange wachtrijen voor CoWoS	Teams die jagen op de efficiëntiegrens met volumetoezeggingen
Samsung Foundry	Wafers ongeveer 20–25% goedkoper (SF3 ongeveer $15.000 tegenover ongeveer $20.000 voor N3); gebruikt door de tweede generatie van Groq en anderen	De foundrytak lijdt verlies en mikt eind 2027 op break-even	Kostengevoelige rekenchips
Intel Foundry	Complexe chips zoals Heracles bewezen op Intel 3	Geen openbare externe prijzen of klantgegevens voor 18A; de foundrytak lijdt verlies	Ecosysteem en ondersteuning per geval beoordelen
Foundry's op het Chinese vasteland (SMIC en andere)	Dicht bij een grote binnenlandse markt; wafers op 28 nm voor $1.500–2.500	Capaciteit in de 7 nm-klasse ongeveer 45.000–60.000 wafers per maand, grotendeels opgeslokt door Huawei; yields ongeveer een derde van die van TSMC; kosten 40–50% hoger; alleen DUV	Inferentie-, mining- en ZK-chips voor de binnenlandse markt
Chiplets	Overwinnen reticle- en yieldgrenzen; standaard voor HBM-systemen (MI355X, Ironwood, Trainium3)	Hogere packagingkosten en afhankelijkheid van CoWoS; het testen op known-good dies voegt kosten toe	Training en grote inferentiechips; niet nodig voor kleine mining- of ZK-chips

HOOFDSTUK 10

EEN GEFASEERD BUDGET

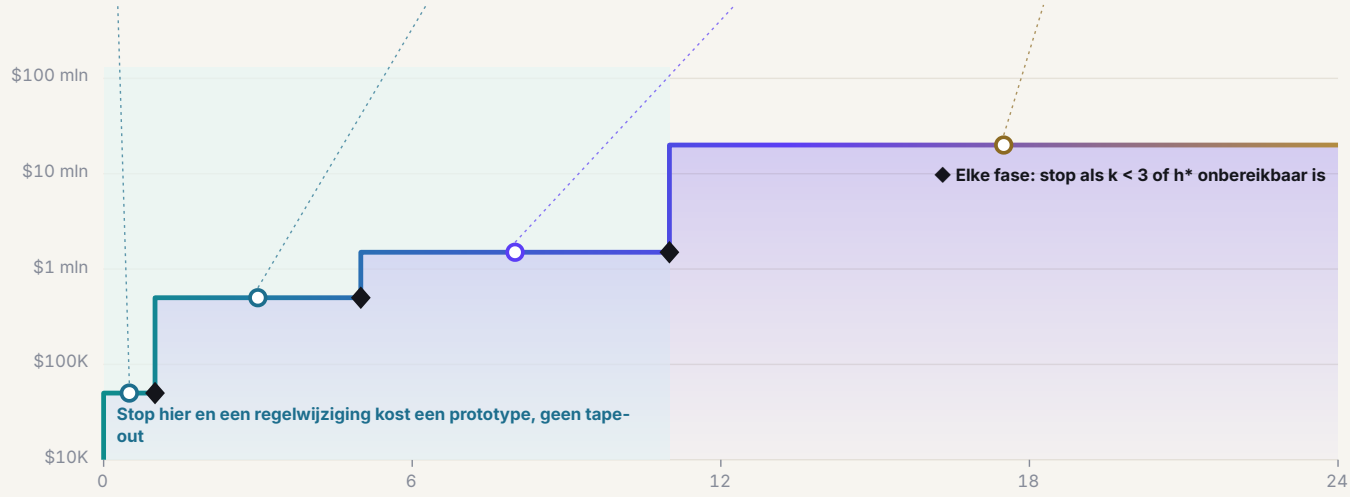
10 Van model naar silicium: een gefaseerd budget voor een eerste chip

Koop bewijs vóór maskers

Een full-custom chip is een reeks weddenschappen, elk groter dan de vorige, en de discipline is om bewijs te kopen voordat je maskers koopt. Ik gebruik vier fasen analyse. Fase 0 is een model: een architectuurstudie die J/op en $/op raamt op basis van de rekenkunde, het SRAM en de I/O, tegenover de referentiehardware van hoofdstuk 7; dat kost weken en tienduizenden dollars. Fase 1 is een FPGA-prototype dat de echte workload end-to-end draait, mining-shares of inferentietokens, en het datapad en de protocolintegratie bewijst; dat kost enkele maanden en enkele honderdduizenden dollars. Fase 2 is een multi-project wafer: een commerciële plaats kost ongeveer $50.000–150.000 op N28 en $100.000–500.000 op N7, en gemeten silicium vervangt de energieschattingen van het model. Fase 3 is de volledige maskerset en de eerste productielot: maskers van ongeveer $1 miljoen op N28, $3,5 miljoen op N7 en $15 miljoen op N3, binnen een ontwerpbudget van $15–100 miljoen op 7/6 nm. Elke fase heeft een getal nodig dat het project stopt, zoals een k onder 3 tegenover de marginale hardware, of een terugverdienhashrate h* die het venster niet kan halen.

FIG. 09 **Koop bewijs vóór maskers: een gefaseerd budget voor een eerste chip**

Cumulatieve uitgaven in dollars van een project op N7/N6 door vier fasen, log. schaal; elke fase heeft een getal dat het project stopt



Bron: Wafer-, MPW- en maskerprijzen zoals in hoofdstuk 9 (Silicon Analysts, AnySilicon, modelwaarden); timing en uitgaven per fase zijn illustratieve aannames van de auteur.

De trap is steil. In een project op N7/N6 kosten de eerste drie fasen samen ongeveer $1,5 miljoen en ongeveer elf maanden; de vierde kost meer dan tien keer zoveel schatting. Daarom telt de volgorde zwaarder dan de node: als het protocol zijn rekenkunde verandert of de koper afhaakt, verliest een team dat bij fase 2 is gestopt de prijs van een prototype, niet die van een tape-out.

Wat elke chip kost, en wat er waar moet zijn

Project	Fase 2 (prototype)	Fase 3 (node en ontwerpbudget)	Eén goede die van 100 mm²	Wat er waar moet zijn om terug te verdienen
Inferentie-eerst-accelerator die kan minen	MPW op 16/12 nm of N7, $0,1–0,5 miljoen	N6/N7, ongeveer $15–30 miljoen schatting	Ongeveer $17 op N7, vóór packaging en geheugen	Een getekende inferentieklant draagt het grootste deel van de NRE; mining-inkomsten zijn extra, niet het basisscenario
Speciale INT7-miner voor Pearl (nu niet aanbevolen)	MPW op 28 nm, $0,05–0,15 miljoen	N7/N6, ongeveer $20 miljoen	Ongeveer $17 op N7	Ongeveer 4,9 EH/s gedurende een vol jaar met p = 1, of 9,8 EH/s met p = 0,5 (hoofdstuk 7)
ZK-accelerator	FPGA, daarna MPW op 16/12 nm	N7/N6, daarna N5	Ongeveer $10 op N16, $17 op N7	Bewijssystemen komen uit bij MSM- en NTT-kernels die een vast ontwerp kan bedienen
FHE-accelerator	FPGA tegen de opensource-basislijn	N5/N3 met HBM, $30 miljoen of meer	Gedomineerd door HBM en packaging	Een koper voor versleutelde AI op volume, die er nog niet is

Daaruit volgen twee commerciële punten. Ten eerste is de goedkoopste efficiëntie architecturaal: operanden in SRAM houden en HBM en CoWoS weglaten, haalt het grootste deel van de kosten van een GPU weg (ongeveer 63% van de stuklijst van een H100) voordat er een node is gekozen. Ten tweede is tijd een kostenpost: een nieuw team heeft ongeveer 18 tot 24 maanden nodig van start tot volume en doorlooptijden aan de leidende rand bedragen meer dan 50 weken, dus een protocol dat zijn rekenkunde om de paar maanden verandert, kan een chip verouderd maken voordat fase 3 zich terugbetaalt.

Drie regels voor een klein team

Samen geven deze getallen drie regels analyse. Ten eerste: **blijf in fase 1 of 2 totdat er een bij naam bekende koper of een bevroren protocolversie is**; noch de tokenprijs noch de hashrate is voor een van beide een vervanging. Ten tweede: **koop k eerst met architectuur en pas daarna met de node**: een array met operanden in SRAM op N7 kan voor één workload een onderdeel voor algemeen gebruik op N3 verslaan, tegen een fractie van de maskerkosten. Ten derde: **leg vóór de tape-out de terugverdienhashrate of het terugverdienvolume vast, met p**, en prijs mijlpaalbetalingen tegen een vaste protocolversie, zodat de klant, niet het ontwerphuis, het regelrisico draagt.

HOOFDSTUK 11

11 KANSEN
Waar de kansen liggen, en wat ik zou doen

Maatwerkchips: de vraag komt overweldigend uit AI

In 2026 komt de vraag naar maatwerkchips overweldigend uit AI. De AI-halfgeleideromzet van Broadcom in het derde kwartaal van boekjaar 2026 bedroeg $16,7 miljard, 221% hoger dan een jaar eerder, ongeveer $58 miljard voor het jaar, waarvan 73% uit XPU's voor zes klanten (uit een automatisch transcript van de cijferpresentatie). De omzet van Global Unichip in het tweede kwartaal steeg 128% op jaarbasis, met de omzet uit turnkeyproductie 188% hoger en een brutomarge van 21,5%. De omzetverdeling van Alchip per node in het eerste kwartaal was 21% op 3/2 nm, 63% op 7/5 nm en 16% op 12 nm en groter. De nieuwe orders van VeriSilicon voor 2026 bereikten eind april RMB 8,24 miljard (ongeveer $1,16 miljard), waarvan 91,37% voor AI-rekenwerk. De markt kent drie lagen: bovenaan meerjarige co-ontwikkeling ter waarde van miljarden; in het midden projecten van 7 nm tot 2 nm met een NRE van enkele miljoenen tot meer dan honderd miljoen dollar ($5–30 miljoen op middenklassenodes, $30–100 miljoen of meer aan de leidende rand); en een lange staart van ASIC's op volwassen nodes met een NRE van $0,5–5 miljoen. Crypto- en miningklanten zijn een kleine, cyclische niche, maar ze zijn vandaag de snelste, meest toestemmingsvrije "eerste klant" die voor rekenkracht betaalt.

De vaardigheden van een miningchipteam die het best overdraagbaar zijn, werking op lage spanning dicht bij de drempel, massaal gerepliceerde rekenarrays, stroomvoorziening en koeling in de kilowattklasse, en snelle tape-outs op leidende nodes, zijn precies wat inferentiechips en ZK- en FHE-accelerators nodig hebben. Kapitaalmarkten prijzen dit in: Velaura AI (voorheen Auradine) haalde in augustus $110 miljoen op tegen een waardering van meer dan $1 miljard. Het tegenvoorbeeld is de edge-AI-chipeenheid van Canaan, die in boekjaar 2024 een omzet had van $0,9 miljoen terwijl ze 15% van de bedrijfskosten opslokte, en in juni 2025 werd gesloten. Het verschil zit in een onafhankelijke weg naar de markt, niet in het hergebruiken van miningkanalen.

AI-ontwikkeling: uren zijn handelswaar; de waarde zit in de verbindingen

Aan de onderkant zijn AI-ontwikkeldiensten handelswaar geworden: typische tarieven op Clutch zijn $25–49 per uur, en $50–99 in de Verenigde Staten, Canada en vergelijkbare markten; een blockchainontwikkelteam kost ongeveer $15.000 tot meer dan $90.000 per maand. Uren verkopen heeft geen slotgracht. De waarde zit in de verbindingen tussen vakgebieden: kernels en compilers voor maatwerkchips, mining ingebed in het leveren van inferentie (de vLLM-plug-in van Pearl is een voorbeeld), verifieerbare inferentie die TEE's combineert met ZK-steekproeven, en betalingen en identiteit voor agents.

AI × crypto-systemen: teken de koper van rekenkracht vóór de token

Voor wie een AI-native chain of rekennetwerk ontwerpt, heeft de verificatiegereedschapskist van 2026 vorm gekregen. Gerangschikt naar kosten per eenheid werk, van laag naar hoog: statistische steekproeven (proof of sampling van Hyperbolic), gedelegeerde verificatie met scheidsrechter (Verde van Gensyn, die slechts één eerlijke verifier nodig heeft maar bit-exacte uitvoering vereist), TEE's (bijna native snelheid, maar vertrouwen in de chipleverancier), volledige redundantie en algemene zkML. Het praktische ontwerp is gelaagd: TEE's of steekproeven voor lage latentie, geschilprocedures of ZK-steekproeven voor finaliteit; een paper van december 2025 simuleerde H100-confidential computing met fraudebewijzen en willekeurige ZK-steekproeven op 99% van de cen-

trale doorvoer en marginale kosten van $0,07 per query. De hardwarefilosofie bepaalt veiligheid en distributie: GPU-native PoUW wordt aanvankelijk beschermd door huurbare cloud-GPU's, dus de kosten van een aanval zijn gekoppeld aan huurprijzen, en Qubic laat zien dat proof of work op hardware voor algemeen gebruik in zijn geheel kan worden overgenomen door externe prikkels.

Kosten en tijd zijn niet de barrière. Pearl ging in ongeveer 12 maanden van paper (april 2025) naar mainnet, geforkt van btcd, met bij de lancering een full node, wallet, light client en miner. De meeste DeFi-audits kosten $25.000–100.000, enterprise- of multichain-audits $150.000–250.000 of meer, ZK-circuits 80% tot 120% meer, en projecten met echte waarde op het spel begroten $150.000–500.000 per jaar voor beveiliging. De echte barrières zijn distributie en liquiditeit. Oprichters melden dat Binance 0% tot 3,5%, en naar verluidt 8%, van het tokenaanbod heeft gevraagd voor een notering (Binance ontkent winst te maken op noteringen); alle zes projecten die Cointelegraph onderzocht en die marketmakingdeals met "tokenlening plus calloptie" gebruikten, daalden, en de marketmaker van Movement verkocht op de noteringsdag voor ongeveer $38 miljoen aan tokens. De alternatieven zijn on-chain liquiditeit, zoals bij Hyperliquid, dat zonder notering bij Binance de $10 miljard aan marktwaarde passeerde en waarvan de HIP-3-perpetualmarkten in juni de $3,2 miljard aan open interest passeerden, en openbare verkopen via grote exchanges, zoals toen Monad via Coinbase $269 miljoen ophaalde. Een hoge volledig verwaterde waarde met een kleine float was in 2025–2026 de duidelijkste voorspeller van een daling na de lancering.

Tokenontwerp is onderdeel van het systeemontwerp. Emissie moet betaalde vraag volgen in plaats van erop vooruit te lopen: de netwerken in dit rapport met de gezondste subsidiemultiples koppelen beloningen aan werk waarvoor een externe koper betaalt, en die met de slechtste betalen voor hashrate of stake zonder iets erachter. Een praktische regel is om vóór de lancering de subsidiemultiple te publiceren die het netwerk in zijn eerste, tweede en derde jaar nastreeft, en de emissie te verlagen als die wordt gemist analyse.

Richting	Wie koopt, en betalingsbereidheid	Venster	Kernvaardigheden	Belangrijkste risico
Inferentie-eerst-accelerator die kan minen	Neoclouds, privé-implementaties, PoUW-netwerken	2027–2028 (afhankelijk van de FP8- en FP4-forks)	INT8-, FP8- en FP4-GEMM; SRAM-architectuur; protocolintegratie	Toelating door het protocol, architectuurale lock-in
SRAM- of vastbedrade inferentiechip	Neoclouds, datacenters op het Chinese vasteland, edge	Nu	Compilers en modelaanpassing; ontwerp op N6–N4	Modellen veranderen te snel
Miningchip (niche of verticaal geïntegreerd)	Miners met eigen stroom; thuis- en verwarmingsminers	Nu, begrensd door de halvering en de hashprice	Arrays op lage spanning, efficiëntie, toeleveringsketen voor volume	Prijsoorlogen door gevestigde spelers, stroomprijzen
Versnelling van ZK-bewijzen	Provernetwerken, rollups	Wachten tot bewijssystemen convergeren	Programmeerbare MSM en NTT	Vraag hangt af van tokenbeloningen
Versnelling van FHE	Versleutelde AI voor bedrijven en overheden; privacychains	2027–2029	NTT, HBM-systemen, cryptografische engineering	Vraag nog niet gevormd; lange verkoopcycli
Versteviging van TEE's en verifieerbare inferentie	Netwerken voor vertrouwelijke inferentie, DePIN	Nu	Geheugenencryptie met integriteit, onafhankelijke attestatiebases, ZK-steekproeven	Afhankelijkheid van ecosystemen van leveranciers
AI-native chain of rekennetwerk	Inferentiekopers, miners, ontwikkelaars	Nu	Verificatieontwerp, emissieontwerp, distributie	Daling na de lancering, tokenliquiditeit

Drie paden die ik zou nemen, elk met een eerste stap

Als ik moest kiezen, zou ik hooguit drie paden nemen, elk met een kleine eerste stap die het pad toetst voordat er geld wordt vastgelegd analyse.

- **Pad A: een inferentie-eerst-accelerator die ook kan minen.** Eerste stap: een architectuurstudie van vier weken die J/op en $/op modelleert voor een INT8/FP8-GEMM-array met operanden in SRAM tegenover de RTX 5090 en H100, zowel op het werk van Pearl als op transformerinferentie, gevolgd door validatie op FPGA of MPW op een volwassen node met een NRE in de orde van een miljoen dollar.
- **Pad B: maatwerksiliciumdiensten met crypto als eerste klant en AI als tweede markt.** Eerste stap: het NRE- en break-evenmodel van dit rapport omzetten in een betaalde haalbaarheidsstudie voor rekenchipprojecten, met mijlpaalbetalingen en acceptatie tegen een vaste protocolversie.
- **Pad C: een AI-native netwerk dat zijn koper van rekenkracht tekent vóór zijn token.** Eerste stap: een ontwerpnotitie over gelaagde verificatie (TEE plus steekproeven plus ZK-steekproeven) en over een leveranciersneutrale canonieke rekenkunde, geschreven met één bij naam genoemde inferentiekoper vóór enig tokenontwerp.

HOOFDSTUK 12

12 WEGWIJZERS
Waar je op moet letten, november 2026 tot 2027

Wanneer	Waar je op moet letten	Waarom het ertoe doet
Op elk moment	De FP8-activeringshoogte van Pearl	Bepaalt of integerhardware en niet-NVIDIA-kaarten toegelaten blijven, en of de chain splitst
Maandelijks	Het aandeel blokken met AI-werk bij Pearl	De beste afzonderlijke toets of “nuttig” waarheid wordt
Maandelijks	Of inferentieaanbieders mininginkomsten doorgeven aan klanten	Betaalde vraag die emissie ontmoet: het model dat Pearl nodig heeft
Per kwartaal	De verifieerbare omzet van Bittensor tegenover de emissies	Of het grootste netwerk met nuttig werk zijn subsidiekloof dicht
Per kwartaal	Het aandeel x402-stromen dat werkelijk door agents wordt geïnitieerd	Of agentbetalingen van signalering naar handel gaan
Januari 2027	De gemelde prijsverhoging van 3% tot 6% door TSMC, het meest voor 2 nm en 3 nm	De kosten van tape-outs op leidende nodes
Eerste kwartaal van 2027	FP4 in Pearl, zoals gemeld uit de AMA van de oprichters	Een verdere verschuiving van het werk naar de nieuwste formaten van NVIDIA
Eind 2027	Het doel van Samsung Foundry om break-even te draaien	Of een goedkopere tweede bron gezond blijft
April 2028	De volgende halvering van bitcoin	Halveert de pot voor SHA-256-miners

HOOFDSTUK 13

13 VRAGEN OM TE STELLEN
Vragen die je niet stelde maar wel had moeten stellen

De onderstaande vragen zijn de vragen die ik zou stellen voordat ik geld of silicium vastleg in een AI × crypto-project.

Wie beheerst de werkfunctie? Als een klein team de rekenkunde op een hardgecodeerde hoogte kan veranderen, is de levensduur van je hardware hun beslissing. Vraag om een schriftelijke toezegging van stabiliteit, of ontwerp hardware met een tweede markt.

Wat is de subsidiemultiple? Deel de emissies (of de marktwaarde) door de omzet die van buiten het netwerk wordt betaald. Een multiple boven 10 betekent dat het netwerk activiteit koopt, geen dienst verkoopt.

Wat kost de volgende fase, en welk getal laat je stoppen? Een multi-project wafer kost tienduizenden of honderdduizenden dollars; een maskerset kost miljoenen. Leg het stopgetal vast voordat je uitgeeft.

Wat is de terugverdienhashrate, met p? Deel de NRE door R × (1 − 1/k) × T × p. Als het antwoord een groot deel van het netwerk is, is de chip een weddenschap op de regels, niet op het silicium.

Wat is de tweede markt van de chip? Als het protocol forkt of de token daalt, waar kan het silicium dan nog worden verkocht? GPU's overleefden de Merge van Ethereum omdat ze er een hadden; ASIC's voor één algoritme niet.

Komt de waarde terecht in de token of in de aandelen? In 2026 zijn de winstgevende AI × crypto-bedrijven vooral bedrijven met aandelenkapitaal en cryptodistributie; beslis welke van de twee je bouwt voordat je geld ophaalt.

Wie is de eerste betalende klant, bij naam? Elk duurzaam geval in dit rapport, van Grass tot de rekensubnets van Bittensor, begon met een bij naam bekende koper buiten het netwerk.

Dit zijn gebieden die ik graag samen met anderen zou verkennen, via technische uitwisseling en technische samenwerking: maatwerkchips voor mining, AI-training en -inferentie, en accelerators; AI-ontwikkeling; en AI × crypto-systemen van chain tot node tot chip. Je kunt me bereiken via i@tanshuai.com.

Beperkingen van dit rapport

Dit is bureauonderzoek op basis van openbare documenten tot en met 13 november 2026. Voor deze editie heb ik geen primaire interviews en geen onafhankelijke metingen gedaan. Verschillende kerncijfers zijn claims van bedrijven of leveranciers, zoals de omzet van Aethir, de omzet van Grass, de prestaties van Etched en Taalas en de efficiëntie van Cysic; ze zijn als zodanig gemarkeerd. Chainmaatstaven voor Pearl komen van een onafhankelijke full node en van pools en veranderen per uur; ik gebruikte de waarden rond 07:13 UTC op 13 november en geef

bereiken van dezelfde dag. Wafer-, masker- en ontwerpkosten zijn schattingen van derden en modelwaarden die elkaar tegenspreken; ik toon bereiken. Mijn break-evenrekensom voor ASIC's en het gefaseerde budget gebruiken illustratieve aannames (k, T, p, NRE en kosten per fase) die een lezer door zijn eigen aannames moet vervangen.

Over de auteur

Tan Shuai is technoloog en oprichter, met meer dan twintig jaar werk in chips, hardware en systeemsoftware, en 20 verleende octrooien. Hij heeft vele jaren R&D en management van fabless chips achter de rug, waaronder full-custom ASIC-datapadontwerp voor miningchips voor cryptovaluta en multimediacamerachips, en dat is de lens van dit rapport: energie per bewerking, kosten per wafer, wat een protocol je in silicium laat vastleggen, en wie betaalt. Zijn werk bracht hem naar Silicon Valley, New York, Chicago, Taiwan, de Greater Bay Area (Shenzhen en Hongkong), Vietnam en Maleisië. Vandaag werkt hij als AI-onderzoeker en -ontwikkelaar.

Technische discussie: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Opmerkingen en disclaimer

Dit rapport is onafhankelijk bureauonderzoek op basis van openbare documenten die beschikbaar waren tot en met 13 november 2026. Het wordt uitsluitend ter informatie en lering aangeboden en is geen beleggings- of technisch advies. Het behandelt uitsluitend technologie en bedrijfsvoering. Prijzen, chainmaatstaven en protocolregels veranderen; controleer alles waarop je vertrouwt aan de hand van de primaire bron. Cijfers die zijn gemarkeerd als leverancierclaim, schatting of analyse moeten als zodanig worden gelezen. Prijzen van cryptoactiva zijn zeer volatiel.

© 2026 Tan Shuai. Je mag dit rapport ongewijzigd en met bronvermelding delen.



Bronnen

Alle geraadpleegd tussen 10 november en 13 november 2026. Gegroepeerd per hoofdstuk.

Pearl: protocol, code en chaindata

- Komargodski en Weinstein, "Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication", arXiv 2504.09971: https://arxiv.org/abs/2504.09971
- Pearl Research Labs, INT-whitepaper: https://pearlresearch.ai/research/int-whitepaper
- Broncode van Pearl: genesisblok: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/genesis.go ; consensusparameters en forkhoogtes: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/params.go ; hashrateboekhouding: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/zk-pow/src/api/sanity_checks.rs ; upgradegids voor de salted-seed-fork: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/docs/salted-seed-fork-upgrade-guide.md ; parameters van de fp8-scheme-branch: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/fp8-scheme/node/chaincfg/params.go
- Pearl Improvement Proposals: https://github.com/pearl-research-labs/pips ; PIP-3, floating-pointmining: https://github.com/pearl-research-labs/pips/blob/main/PIPS/pip-0003.md
- prlstats (onafhankelijke full node): netwerk: https://prlstats.com/api/network ; reeksen: https://prlstats.com/api/series ; startpagina en model van minerinkomsten: https://prlstats.com/api/home ; gedolven aanbod: https://prlstats.com/api/mined ; pools: https://prlstats.com/api/pools ; houders: https://prlstats.com/api/holders ; aannames over hardware en overhead: https://prlstats.com/api/assumptions
- Kryptex Pool: netwerk van Pearl: https://pool.kryptex.com/prl/about-coin ; hashrate: https://pool.kryptex.com/prl/hashrate ; RTX 5090: https://pool.kryptex.com/de/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-5090 ; RTX 4090: https://pool.kryptex.com/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-4090 ; "Pearl FP8 fork": https://pool.kryptex.com/articles/pearl-fp8-fork-en
- CoinGecko, Pearl: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2 ; https://www.coingecko.com/en/coins/pearl-research ; koershistorie: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2/market_chart?vs_currency=usd&days=365&interval=daily ; zoekopdracht naar de ticker "Perle": https://api.coingecko.com/api/v3/search?query=perle
- SimeonOnSecurity, "Mining Pearl (PRL) in 2026": https://simeononsecurity.com/articles/pearl-prl-mining-guide-2026/
- Hashrate Index, "Pearl (PRL): Inside the AI-Compute Cryptocurrency", 2 juni 2026: https://hashrateindex.com/blog/pearl-prl-ai-compute-cryptocurrency/
- Tom's Hardware, "New AI compute cryptocurrency Pearl sparks a GPU mining rush, but profitability is sliding": https://www.tomshardware.com/tech-industry/cryptomining/new-ai-compute-cryptocurrency-pearl-sparks-a-gpu-mining-rush-but-profitability-is-sliding
- Together AI, partnerschap met Pearl Research Labs: https://together.ai/blog/together-ai-partners-with-pearl-research-labs ; modelpagina: https://together.ai/models/gemma-4-31b-it-pearl
- Basu, telling van mininginstanties van Pearl, arXiv 2606.04819: https://arxiv.org/html/2606.04819v2
- Blockworks, nieuwsbrief 0xResearch, 28 oktober 2026: https://blockworks.com/newsletter/0xresearch/issue/post_daf0d74a-2bf4-41e4-86d3-2a1275475a24
- Datawallet, "Pearl Explained": https://www.datawallet.com/crypto/pearl-explained
- Coingabbar over het bericht van TheMarker over de financiering van Pearl Research Labs: https://www.coingabbar.com/en/pearl-research-labs-funding-130m-stealth-round-themarker

Chains met nuttig werk en geschiedenis

- Grothe et al., beveiligingsanalyse van Gridcoin, USENIX WOOT 2017: https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-grothe.pdf
- Vervalsing van proof of learning, arXiv 2208.03567: https://arxiv.org/abs/2208.03567
- hoge.gg, verificatie en vertrouwen bij gedecentraliseerde inferentie: https://hoge.gg/decentralized-inference-2026-verification-trust/ ; omzet en treasury van Bittensor: https://hoge.gg/bittensor-quantum-wallet-revenue-tao-treasury-2026/
- Kaspa: matrixcode van kHeavyHash: https://github.com/kaspanet/rusty-kaspa/blob/master/consensus/pow/src/matrix.rs ; lancering: https://coinranking.com/coin/V8GxkwWow+kaspa-kas/about ; aankondiging IceRiver KS1/KS2: https://www.iceriver.io/2023/03/14/1677644580/ ; geschiedenis van GPU naar ASIC: https://captainmining.com/blogs/crypto-news/the-evolution-of-kaspa-mining-from-gpus-to-asic-powerhouses ; GPU-hashrates: https://coincalculators.io/algorithms/kheavyhash ; KS7: https://www.asicminervalue.com/miners/bitmain/antminer-ks7-40th ; netwerk: https://minerstat.com/coin/kas ; 1 EH/s in 2024: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-reaches-1-ehs-in-hashrate ; Crescendo: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-crescendo-live
- Aleo: FAQ over het mainnet: https://aleo.org/post/aleo-mainnet-faq/ ; gedecentraliseerd bewijzen: https://aleo.org/post/decentralized-proving-advantages/ ; ASIC's: https://whattomine.com/coins/432-aleo-zksnark/asics ; Blockworks, "State of Aleo Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-aleo-q3-2025 ; ARC-46: https://chaincatcher.com/en/article/2144326
- Qubic: The Block over de reorganisatie van Monero: https://www.theblock.co/post/366535/monero-faces-chain-reorganization-fears-after-qubic-says-it-controls-51-of-hashrate ; Halborn: https://www.halborn.com/blog/post/explained-the-monero-51-percent-attack-august-2025 ; mining van Dogecoin: https://hackernoon.com/qubic-is-now-mining-dogecoin-on-its-ai-compute-infrastructure ; CoinGecko: https://www.coingecko.com/en/coins/qubic

- Consensusdocumentatie van Bittensor: https://www.bittensor.com/llms.mdx/docs/internals/consensus/content.md ; FalconX, "State of Bittensor": https://www.falconx.io/newsroom/state-of-bittensor-subnet-adoption-trends-network-mechanics-and-covenants-departure
- Primecoin: https://en.wikipedia.org/wiki/Primecoin ; Blockworks, "State of Filecoin Q3 2025": https://app.blockworks.com/report/state-of-filecoin-q3-2025
- Monero en forks voor ASIC-bestendigheid: https://lbry.com/news/forking-for-asic-resistance ; fork van Sia: https://hotfix.coindesk.com/markets/2018/11/01/sia-completes-hard-fork-as-bricked-miners-form-rival-blockchain ; prijzen van Obelisk: https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/11/obelisk-hardware-skyrockets-in-selling-price-after-sia-hard-fork/ ; miners na de Merge: https://hotfix.coindesk.com/business/2022/11/11/ex-ethereum-miners-token-hop-to-stay-alive-after-the-merge

Sectoren van AI × crypto

- DefiLlama: Render: https://defillama.com/protocol/render-network-bme ; Livepeer: https://defillama.com/protocol/livepeer
- Cointelegraph over de DePIN-omzet volgens Messari: https://cointelegraph.com/news/depin-revenues-grow-despite-token-losses
- Aethir, terugblik op 2025: https://aethir.com/blog-posts/aethirs-2025-wrap-up-decentralized-gpu-cloud-milestones
- CoinGecko, AI-categorie: https://www.coingecko.com/en/categories/artificial-intelligence
- Akash, huurprijzen van H100's: https://akash.network/the-bid/h100-rental-price-2026-cost-per-hour/ ; rapport Q1 2026: https://akash.network/blog/akash-network-q1-2026-report/
- io.net, deal van $8 miljoen en dagelijkse tokens: https://lifestyle.kbew98country.com/story/271004/io-net-to-burn-up-to-12m-tokens-as-network-closes-8m-deal-and-hits-4-billion-daily-ai-tokens/
- DCD, contract van Axe Compute: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/axe-compute-secures-15bn-compute-contract-with-unnamed-customer/
- Pluralis-8B: https://www.alphaxiv.org/abs/2607.13332.md ; Nous Research, Psyche: https://nousresearch.com/the-next-phase-of-psyche ; Implicator over INTELLECT-3: https://www.implicator.ai/prime-intellects-intellect-3-open-source-ambition-meets-centralized-reality/
- SiliconANGLE, financiering van Prime Intellect: https://siliconangle.com/2026/07/08/prime-intellect-raises-130m-1b-valuation-ai-training-platform/ ; The Block, Venice: https://www.theblock.co/post/406934 ; RuntimeWire, financiering van Nous: https://runtimewire.com/article/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valuation
- ownyourmind, Gensyn: https://ownyourmind.ai/projects/gensyn/ ; Phemex, Ritual (alleen kopregel): https://phemex.com/news/article/ritual-launches-ai-layer-1-mainnet-and-ritual-token-price-dives-72-from-high-101259
- Overhead van confidential computing, arXiv 2409.03992: https://arxiv.org/abs/2409.03992v2 ; Phala, rapport 2025: https://phala.com/posts/phala-2025-report ; TEE.fail: https://thehackernews.com/2025/10/new-teefail-side-channel-attack.html ; DeepProve, IACR ePrint 2026/1112: https://eprint.iacr.org/2026/1112
- TRM Labs, meting van betalingen door AI-agents: https://www.trmlabs.com/trm-tech-blog/whos-actually-paying-measuring-ai-agent-payments-onchain ; Forkast over de x402 Foundation: https://forkast.news/the-x402-foundation-activated-a-27-year-old-internet-code-200-million-transactions-later-the-real-volume-is-still-tiny/ ; The Block, mainnet van Tempo: https://www.theblock.co/amp/post/394131/tempo-mainnet-goes-live-with-machine-payments-protocol-for-agents ; BlockEden over de aGDP van Virtuals: https://blockeden.xyz/blog/2026/04/21/agdp-agent-gdp-virtuals-protocol-ai-blockchain-valuation-primitive-tvl-displacement/ ; The Block over ElizaOS: https://theblock.co/post/410774/eliza-labs-native-token-dead
- Dealroom, omzet van Grass: https://dealroom.co/news/157794-grass-backed-by-multicoin-projects-75m-in-2026-data-revenue/ ; CryptoSlate, Fetch.ai en Ocean: https://cryptoslate.com/cryptos-flagship-ai-pact-fracture-fetch-sues-ocean-over-263m-fet-community-sales/ ; Fortune over World: https://fortune.com/2026/06/01/internet-according-to-sam-altman-seeing-orb/
- Galaxy, durfkapitaal voor crypto: https://www.galaxy.com/insights/research/crypto-blockchain-venture-capital-q3 ; Crypto Briefing (alleen kopregel): https://cryptobriefing.com/crypto-vc-investment-q3-2026-galaxy/ ; Blockhead over Tiger Research: https://www.blockhead.co/2026/10/14/bitcoin-rose-43-in-q3-crypto-venture-funding-did-not-follow/ ; ForkLog over tokenlanceringen in 2025: https://forklog.com/en/85-of-tokens-launched-in-2025-fell-below-initial-prices/

ASIC-economie en chiptypen

- Hashrate Index, overzicht van 9 november 2026: https://hashrateindex.com/blog/hashrate-index-roundup-november-9-2026/
- AnySilicon, ontwerpkosten van ASIC's per node in 2026: https://anysilicon.com/news/how-much-does-asic-design-cost-in-2026-real-price-ranges-by-process-node/ ; Silicon Analysts, gids voor tape-outkosten van fabless bedrijven: https://siliconanalysts.com/analysis/fabless-startup-tapeout-cost-guide ; marktgegevens: https://siliconanalysts.com/market-data
- MillionMiner, Bitmain S23 XP Hyd: https://millionminer.com/news/bitmain-wdms-2026-s23-xp-hyd-launch
- Khattak en Mikaitis, FP8-accumulatie in tensorcores, arXiv 2512.07004: https://arxiv.org/html/2512.07004v2
- Canaan, resultaten tweede kwartaal 2026: https://finviz.com/news/389337/canaan-inc-reports-unaudited-second-quarter-2026-financial-results ; Bitdeer, resultaten derde kwartaal 2026: https://greenstocknews.com/news/nasdaq/btdr/bitdeer-reports-unaudited-third-quarter-2026-results-record-revenue-of-us-320-7-million-adjusted-ebitda-up-173-to-us-69-6-million
- TheEnergyMag: Velaura AI: https://theenergymag.com/news/market-news/velaura-ai-series-a-bitcoin-pivot ; Core Scientific en Block: https://theenergymag.com/news/2026-07-29/core-scientific-exit-block-bitcoin-deal-ai ; economie van AI-leases: https://theenergymag.com/news/2026-08-06/miner-weekly-ai-pumpability-out-fuel
- Blockworks, Cipher en Fluidstack: https://blockworks.co/news/cipher-mining-inks-3b-ai-hosting-deal-with-fluidstack ; Cointelegraph, Core Scientific: https://cointelegraph.com/news/core-scientific-to-quit-bitcoin-mining-by-year-end-as-ai-business-surges ; ForkLog, Bitfarms: https://forklog.com/en/former-bitfarms-shuts-down-all-mining-sites-in-the-us/ ; IREN, resultaten Q1 FY27: https://globenewswire.com/news-release/2026/11/05/3397020/0/en/iren-reports-q1-fy27-results.html
- Spark, marktconcentratie bij bitcoin-ASIC's: https://www.spark.money/research/bitcoin-asic-manufacturer-market-concentration

- Google, documentatie TPU7x: https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/tpu7x?hl=es ; The Register, Ironwood: https://www.theregister.com/2025/04/10/googles_7thgen_ironwood_tpus_debut/ ; SemiAnalysis, B300: https://inferencex.semianalysis.com/chips/b300 ; paper over TPU v1, arXiv 1704.04760: https://arxiv.org/abs/1704.04760 ; Glenn Lockwood, MI355X: https://glennklockwood.com/garden/processors/mi355x
- Tom's Hardware, Vera Rubin: https://www.tomshardware.com/pc-components/gpus/nvidia-launches-vera-rubin-nvl72-ai-supercomputer-at-ces-promises-up-to-5x-greater-inference-performance-and-10x-lower-cost-per-token-than-blackwell-coming-2h-2026 ; TrendForce, prijzen van CoWoS: https://trendforce.com/news/2026/10/27/news-tsmc-reportedly-eyes-20-cowos-price-hike-skips-equipment-price-renegotiations-amid-ai-demand-surge
- Menon Lab, vergelijking van AI-inferentieaccelerators: https://themenonlab.blog/blog/ai-inference-accelerators-compared ; Introl, AI-accelerators voorbij GPU's: https://introl.com/blog/ai-accelerators-beyond-gpus-tpu-trainium-gaudi-cerebras-2025
- StratNews (Reuters), binnenlandse AI-chips in door de staat gefinancierde datacenters: https://stratnewsglobal.com/team-sng/china-orders-state-funded-data-centres-to-use-domestic-ai-chips/ ; TNW, import van H200's: https://thenextweb.com/news/nvidia-h200-chips-hong-kong-china-import-approval
- Succinct, realtime bewijzen op 16 GPU's: https://blog.succinct.xyz/real-time-proving-16-gpus/ ; ZK-ASIC-producten van Cysic: https://cysic-docs.pages.dev/hardware-products/zk-asic-products
- Tom's Hardware, Intel Heracles: https://www.tomshardware.com/tech-industry/cyber-security/intels-heracles-chip-computes-fully-encrypted-data-without-decrypting-it-chip-is-1-074-to-5-547-times-faster-than-a-24-core-intel-xeon-in-fhe-math-operations ; IEEE Spectrum: https://spectrum.ieee.org/fhe-intel ; Evertiq, Niobium en SemiFive: https://evertiq.com/design/2026-02-20-semifive-secures-design-win-with-niobium-for-fhe-accelerator ; The Quantum Insider, financiering van Niobium: https://thequantuminsider.com/2025/12/03/niobium-23m-fhe-funding/ ; Optica OPN, Optalysys: https://www.optica-opn.org/home/industry/2026/february/optalysys_raises_us_$31_million_to_push_photonics_computing_toward_cloud_infrastructure/ ; Zama, HPU op FPGA: https://www.zama.org/post/announcing-hpu-on-fpga-the-first-open-source-hardware-accelerator-for-fhe

Procesnodes

- Silicon Analysts, waferprijzen: https://siliconanalysts.com/data/wafer-pricing
- Tom's Hardware, geruchten over prijzen van TSMC A16: https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/tsmc-could-charge-up-to-usd45-000-for-1-6nm-wafers-rumors-allege-a-50-percent-increase-in-pricing-over-prior-gen-wafers ; Wccftech, prijzen van SMIC: https://wccftech.com/smic-5nm-chip-prices-up-to-50-percent-more-expensive/amp/
- EUROPRACTICE, MPW-schema van TSMC voor 2026: https://europractice-ic.com/wp-content/uploads/2025/11/TSMC-Europractice-MPW-schedule-2026.pdf
- Horowitz, "Computing's Energy Problem", ISSCC 2014: https://www.Gwern.net/doc/cs/hardware/2014-horowitz-2.pdf
- Tom's Hardware, roadmap van Huawei Ascend: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/huawei-ascend-npu-roadmap-examined-company-targets-4-zettaflops-fp4-performance-by-2028-amid-manufacturing-constraints ; The Substrate, de toeleveringsketen van AI-chips in China: https://www.the-substrate.net/p/where-chinas-ai-chip-supply-chain ; Tom's Hardware, Trainium3: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/amazon-launches-trainium3-ai-accelerator-competing-directly-against-blackwell-ultra-in-fp8-performance-new-trn3-gen2-ultraserver-takes-vertical-scaling-notes-from-nvidias-playbook

Kansen en lanceringseconomie

- Webull (Benzinga), cijferpresentatie van Broadcom: https://www.webull.com/news/15511095937917952 ; Quartr, Global Unichip Q2 2026: https://quartr.com/events/global-unichip-corp-3443-q2-2026_F9×6NJQY ; Taiwan News, Alchip: https://www.taiwannews.com.tw/news/6370946 ; Design & Reuse, VeriSilicon: https://www.design-reuse.com/news/202530457-surge-in-custom-chip-business-propels-verisilicon-s-q1-revenue-to-double-with-new-orders-skyrocketing-to-8-2-billion-yuan-increased-r-d-investment-leads-to-wider-net-loss-earnings-insight/ ; The Block, de AI-eenheid van Canaan: https://www.theblock.co/post/359250/crypto-miner-canaan-to-shutter-non-core-ai-semiconductor-business-unit-amid-strategic-realignment
- Clutch, prijzen van AI-ontwikkeling: https://clutch.co/developers/artificial-intelligence/pricing ; PixelPlex, kosten van blockchainontwikkeling: https://pixelplex.io/blog/blockchain-development-cost/
- Hyperbolic, proof of sampling: https://hyperbolic.ai/blog/deep-dive-into-hyperbolic-proof-of-sampling ; Gensyn, Verde: https://www.gensyn.ai/research/verde-a-verification-system-for-machine-learning-over-untrusted-nodes ; gelaagde verificatie, arXiv 2512.20176: https://arxiv.org/abs/2512.20176v1
- Sherlock, referentie voor auditprijzen in 2026: https://sherlock.xyz/post/smart-contract-audit-pricing-a-market-reference-for-2026
- Blockworks, noteringsnormen van Binance: https://blockworks.com/news/binance-listing-standards-scrutiny ; Cointelegraph, marketmakerdeals: https://cointelegraph.com/magazine/market-maker-deals-quietly-killing-crypto-projects ; Blockworks, Movement: https://blockworks.co/news/movement-rushi-manche-suspension-market-maker-web3port ; Nansen, HIP-3: https://nansen.ai/post/what-is-hip-3-hyperliquid ; The Block, Monad: https://www.theblock.co/post/380094/monad-mainnet-launches

PROOF OF USEFUL WORK · CRYPTO × SILICIUM

Rekenkracht als consensus

AI × crypto × chips in 2026, vertrekkend vanuit de proof of useful work van Pearl

Elk kerngetal in dit rapport heeft een bron en een datum. Waar de auteur een getal afleidt, is het gemarkeerd als schatting; waar alleen de verkoper het meldt, is het gemarkeerd als leverancierclaim. Het behandelt uitsluitend technologie en bedrijfsvoering.

Tan Shuai

Technoloog en oprichter · AI-onderzoeker en -ontwikkelaar

tanshuai.com · i@tanshuai.com

OPENBARE EDITIE · Gegevens per 13 november 2026

