

Bachelorarbeit

Decentralized Finance: Eine empirische Analyse von Liquidationen auf Aave V3

Rafael Balasteguim da Silva
2022-050-496

05.01.2026

Betreut von:
Prof. Dr. Fabian Schär
Credit Suisse Asset Management (Schweiz) Professor für
Distributed Ledger Technologies and Fintech
Center for Innovative Finance, University of Basel

Abstract

Diese Arbeit untersucht empirisch Liquidationen im Aave V3-Protokoll anhand von On-Chain-Daten. Der Fokus der Arbeit liegt auf der Verteilung der bei Liquidationen verwendeten Collateral- und Debt-Assets. Zudem wird der Einfluss von Ethereum-Preisänderungen auf die Liquidationsaktivität untersucht. Abschliessend wird analysiert, wie sich die Profite der Liquidatoren verteilen. Die Ergebnisse zeigen Konzentrationseffekte bei den verwendeten Assets und den Profiten der Liquidatoren. Zudem besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen ETH-Preisbewegungen und Liquidationen.

Schlagwörter: Decentralized Finance (DeFi), Aave V3, Liquidationen

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Was ist Aave?	2
2.2 aTokens	3
2.3 Risikovariablen	3
2.3.1 Health Factor	3
2.3.2 Liquidation Threshold	4
2.3.3 Liquidation Penalty und Liquidation Bonus	4
2.3.4 Zinsmechanismus	4
2.3.5 Preis-Oracles	5
2.4 Liquidationsprozess	6
2.5 On-Chain Liquidation Events	7
3 Daten und Methodik	8
3.1 Datenbasis und Zeitraum	8
3.2 Forschungsfragen und Hypothesen	8
4 Empirische Analyse	10
4.1 Analyse nach Assets	10
4.1.1 Collateral-Assets	10

4.1.2	Debt-Assets	11
4.1.3	Liquidationspaare	12
4.2	Liquidationen im Zeitverlauf	14
4.2.1	Regression: ETH-Preisänderungen und Liquidationen	15
4.3	Analyse der Liquidatoren	20
4.3.1	Anzahl und Gewinn der Liquidatoren	20
4.3.2	Top 10 Liquidatoren	21
4.3.3	Verteilung der Profite	22
5	Diskussion der Ergebnisse	24
5.1	Ergebnisse und Interpretation	24
5.2	Limitationen der Analyse	26
5.3	Zukünftige Forschung	26
6	Konklusion	27
Literaturverzeichnis		ii
7	Anhang	iv

Tabellenverzeichnis

1	Top 10 liquidierte Collateral-Assets	11
2	Top 10 liquidierte Debt-Assets	12
3	Regressionsergebnisse ETH-Preis und Liquidationen . . .	18
4	Deskriptive Statistik der Liquidatoren	20
5	Top 10 Liquidatoren nach Netto-Gewinn	22
6	Top 25 grösste Einzel-Liquidationen	iv
7	Top 25 Liquidatoren mit negativem Netto-Gewinn	v
8	Robustheitsanalyse mit ETH-Preisvolatilität	vi

Abbildungsverzeichnis

1	Heatmaps der Liquidationsaktivität zwischen den Top-10 Collateral- und Debt-Assets	13
2	Monatliches Liquidationsvolumen und ETH-Preis (Aave V3)	15
3	Lorenzkurve und Gini-Koeffizient der Liquidationsprofite	23

1 Einleitung

Dezentrale Finanzmärkte haben in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Sie bilden den Bereich der sogenannten Decentralized Finance (DeFi) und ermöglichen finanzielle Dienstleistungen ohne zentrale Intermediäre. Die weltweite Nutzung von DeFi-Protokollen nimmt kontinuierlich zu, wobei sich die Aktivität insbesondere auf Nordamerika und Europa konzentriert (Ozili, 2022, S. 121–122). Das Wachstum spiegelt sich auch im gestiegenen Gesamtwert der in DeFi-Protokollen gebundenen Vermögenswerte wider. Anfang Januar 2026 belief sich der *Total Value Locked* (TVL) auf rund 120.66 Mrd. USD (DeFiLlama, 2026a).

Ein zentrales Anwendungsfeld im DeFi-Sektor sind Lending-Protokolle. Sie ermöglichen es Nutzern, Krypto-Assets als Sicherheiten zu hinterlegen oder zu leihen. Smart Contracts bilden das Rückgrat von DeFi-Protokollen. Dabei handelt es sich um kleine Programme, die auf einer Blockchain gespeichert sind und ausgeführt werden. Die Smart Contracts sind auf öffentlichen Blockchains wie Ethereum transparent einsehbar. Ihre Ausführung und Verifizierung erfolgt dezentral durch die Netzwerkteilnehmer. Öffentliche Blockchains sind so konzipiert, dass jeder Teilnehmer die Transaktionen und Abläufe überprüfen kann. (Schär, 2021, S. 154, 164)

Diese Arbeit untersucht Liquidationen des Lending-Protokolls Aave auf dem Ethereum-Mainnet anhand von On-Chain-Daten. Liquidationen spielen in Lending-Protokollen eine zentrale Rolle, da sie das Protokoll vor Ausfallrisiken schützen. Gleichzeitig können sie in Phasen starker Marktbewegungen zu Vermögensverschiebungen führen und sind daher ökonomisch relevant.

Der Fokus der Arbeit liegt auf drei zentralen Fragestellungen. Erstens wird analysiert, welche Collateral- und Debt-Assets besonders häufig liquidiert werden und welches Volumen diese Liquidationen umfassen. Zweitens wird der Zusammenhang zwischen Ethereum-Preisänderungen und der Häufigkeit von Liquidationen empirisch untersucht. Drittens wird die Verteilung der aus Liquidationen erzielten Profite analysiert, um mög-

liche Konzentrationseffekte unter den Liquidatoren zu identifizieren.

Methodisch basiert die Analyse auf einer Kombination aus deskriptiven Auswertungen und Regressionsmodellen. Die verwendeten Daten stammen direkt aus der Ethereum-Blockchain.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Was ist Aave?

Aave ist eines der grössten dezentralen Lending-Protokolle im Bereich der Decentralized Finance (DeFiLlama, 2026a). Das Aave V1 Whitepaper wurde im Januar 2020 veröffentlicht. Rund sechs Jahre später, Anfang Januar 2026, verfügte Aave über ein *Total Value Locked* (TVL) von 34.62 Mrd. USD (DeFiLlama, 2026b). Das Aave-Protokoll läuft primär auf der Ethereum-Blockchain und ist zusätzlich auf verschiedenen Layer-2-Netzwerken wie Arbitrum verfügbar.

Nutzer können auf Aave Vermögenswerte zur Verfügung stellen und dadurch Zinserträge erzielen, während Borrower diese Vermögenswerte aufnehmen und dafür einen entsprechenden Zinssatz bezahlen. Die im Protokoll hinterlegten Vermögenswerte werden in token-spezifischen Reserven verwaltet, aus denen Borrower ihre Kredite beziehen. Auf Aave werden Vermögenswerte in Form von Token verwendet. Die Token repräsentieren digitale Vermögenswerte auf der Blockchain, beispielsweise den an den US-Dollar gebundenen Stablecoin USDC. (Aave, 2020a, S. 1)

Bevor ein Borrower einen Kredit (*Debt*) aufnehmen kann, muss er eine Sicherheit (*Collateral*) hinterlegen. Der Wert dieser Sicherheit übersteigt den Wert des aufgenommenen Kredits. Diese Überbesicherung dient dem Schutz vor Ausfallrisiken.

Aave agiert vollständig dezentral. Die Governance des Protokolls ist über den Aave-Governance-Token organisiert. Dieser Token erlaubt es den Haltern, an Entscheidungsprozessen teilzunehmen, beispielsweise über

die Integration neuer Token oder die Einführung neuer Funktionen. Die gesamte Logik von Aave ist in Smart Contracts auf der Blockchain abgebildet, wodurch Aave autonom und ohne zentrale Instanz operiert. (Aave, o. J. a).

2.2 aTokens

Bei der Einzahlung von Vermögenswerten auf Aave erhalten Lender *aTokens*. Die aTokens repräsentieren den Anspruch auf den eingezahlten Vermögenswert sowie auf die darauf anfallenden Zinsen. Für jeden unterstützten Vermögenswert existiert ein entsprechender aToken, etwa aUSDC im Falle einer Einzahlung von USDC.

aTokens werden ausschliesslich beim Einzahlen von Vermögenswerten gemintet und beim Abheben wieder geburnt. Während der Haltedauer der aTokens erfolgen keine On-Chain-Transaktionen zur Zinsgutschrift. Die verdienten Zinsen werden kontinuierlich akkumuliert und im Saldo der aTokens abgebildet. Eine tatsächliche Realisierung der Zinsen erfolgt erst beim Burn der aTokens, also beim Withdraw. (Aave, 2020b, S. 3–4)

2.3 Risikovariablen

2.3.1 Health Factor

Der *Health Factor* ist eine zentrale Kennzahl im Aave-Protokoll. Er dient zur Bewertung der Sicherheit einer Kreditposition und gibt an, wie nahe sich eine Position an einer Liquidation befindet. Liegt der Health Factor über eins, gilt die Position als ausreichend besichert. Fällt der Health Factor allerdings unter eins, ist die Position nicht mehr vollständig gedeckt und kann liquidiert werden.

Der Health Factor wird als Verhältnis des Gesamtwerts des hinterlegten Collaterals, gewichtet mit dem *Liquidation Threshold*, zum Gesamtwert der aufgenommenen Schulden berechnet:

$$HF = \frac{\text{Gesamtwert Collateral} \times \text{Liquidation Threshold}}{\text{Gesamtwert Schuld}} \quad (1)$$

(Aave, o. J. b)

2.3.2 Liquidation Threshold

Der *Liquidation Threshold* bestimmt, ab welchem Verhältnis von Sicherheit und Schuld eine Position liquidierbar wird. Er wirkt als Gewichtungsfaktor auf den Wert des hinterlegten Collaterals in der Berechnung des Health Factors (siehe Gleichung 1) und definiert damit die Liquidationsschwelle einer Kreditposition (Aave, o. J. c).

2.3.3 Liquidation Penalty und Liquidation Bonus

Wird eine Borrow-Position liquidiert, wird der Borrower mit einer *Liquidation Penalty* belegt. Diese besteht darin, dass ein zusätzlicher Anteil des hinterlegten Collaterals, typischerweise etwa 5 %, eingezogen wird (Aave, o. J. c). Der Borrower verliert somit einen höheren Wert, als zur Tilgung der offenen Schuld erforderlich wäre. (Aave, o. J. b)

Dieser Penalty stellt gleichzeitig den *Liquidation Bonus* für den Liquidator dar. Der Liquidator begleicht einen Teil der offenen Schuld und erhält im Gegenzug Collateral mit einem höheren Gegenwert als dem zurückgezahlten Schuldbetrag. Der daraus resultierende Wertunterschied bildet den ökonomischen Anreiz zur Durchführung von Liquidationen. (Aave, 2020a, S. 2)

2.3.4 Zinsmechanismus

Die Zinsgestaltung in Aave V3 ist auslastungsabhängig und dynamisch. Die Zinssätze werden auf Basis der *Utilization Rate* bestimmt, welche das Verhältnis zwischen ausgeliehenem und verfügbarem Kapital innerhalb einer token-spezifischen Reserve abbildet (Aave, 2020a, S. 3).

Eine steigende Auslastung führt zu höheren Zinserträgen für die Supplier, während sie für Borrower höhere Kreditkosten in Form steigender Zinssätze bedeutet.

Wie im *Aave V3 Technical Paper* beschrieben, basiert die Zinsgestaltung in Aave V3 auf der Auslastung der Reserven des jeweiligen Tokens. Die zugrunde liegende Zinskurve ist dabei nicht linear. Für jede Reserve definiert Aave eine optimale Auslastungsquote (*optimal utilization rate*), bis zu der die Zinssätze moderat ansteigen. Dieser Anstieg wird durch den ersten Steigungsparameter (*slope_1*) beschrieben. Wird die *optimal utilization rate* überschritten, erhöht sich der Zinssatz deutlich steiler, was durch den zweiten Steigungsparameter (*slope_2*) modelliert wird. Durch diese Anreizstruktur wird die Auslastung der Reserve stabilisiert und in Richtung der optimalen Auslastungsquote gelenkt (Emilio Frangella & Lasse Herskind, 2022, S. 12).

2.3.5 Preis-Oracles

Ein zentrales Problem dezentraler Finanzprotokolle ist das sogenannte Oracle-Problem. Smart Contracts haben selbst keinen direkten Zugriff auf externe Preisinformationen und sind daher auf externe Datenquellen angewiesen (Caldarelli, 2020, S. 2). Oracles dienen dabei als Schnittstelle zwischen Blockchain und der realen Welt, indem sie Preisinformationen aus Off-Chain-Quellen erfassen und für Smart Contracts verfügbar machen (Caldarelli, 2020, S. 4). Für die kontinuierliche Bewertung von Sicherheiten und Kreditpositionen nutzt Aave daher externe Preisdaten, die über Oracles von Chainlink bereitgestellt werden (Aave, o. J. d.).

Chainlink Price Feeds basieren auf Preisdaten aus verschiedenen Off-Chain-Quellen, darunter zentralisierte als auch dezentrale Handelsplätze. Die einzelnen Preisbeobachtungen werden Off-Chain aggregiert und anschliessend als Referenzpreis On-Chain veröffentlicht. Die Aktualisierung der Feeds erfolgt entweder zeitbasiert oder bei signifikanten Preisabweichungen. Diese Price Feeds werden in zahlreichen DeFi-Protokollen eingesetzt, darunter auch Aave. (Breidenbach et al., 2021, S. 32)

Für Vermögenswerte, deren Preis stark mit einem anderen Basiswert korreliert ist, kommen bei Aave sogenannte *Correlated Assets Price Oracles* (CAPO) zum Einsatz. Diese werden für abgeleitete oder verpackte Token verwendet, deren Preis eng an einen zugrunde liegenden Basiswert gekoppelt ist (Aave, o. J. d). Ein Beispiel hierfür ist der Token wstETH aus dem Lido-Protokoll. Dieser Token repräsentiert gestakte ETH und weist daher eine enge Preisbindung an ETH auf. Gleichzeitig akkumuliert wstETH kontinuierlich Staking-Erträge aus dem Lido-Protokoll, wodurch der Wert von wstETH im Zeitverlauf zunimmt.

Für die preisliche Bewertung von wstETH greift Aave daher nicht direkt auf einen marktpreisbasierten Chainlink-Feed zurück. Stattdessen wird der Preis über den `WstETHPriceCapAdapter`-Contract berechnet¹. Der wstETH/USD-Preis wird dabei aus dem ETH/USD-Preis von Chainlink sowie dem Verhältnis wstETH/stETH abgeleitet, welches vom Lido-Protokoll bereitgestellt wird. (BGD Labs, 2025)

2.4 Liquidationsprozess

Aave erlaubt es Liquidatoren, bis zu 50 % der ausstehenden Schuld einer Position zu liquidieren, wenn der Health Factor unter eins fällt, jedoch über 0.95 liegt und sowohl die Schuld als auch das hinterlegte Collateral jeweils einen Wert von mindestens 2'000 USD aufweisen. Sinkt der Health Factor hingegen unter 0.95 oder liegt entweder die Schuld oder das Collateral unter 2'000 USD, kann eine Liquidation von bis zu 100 % der Position durchgeführt werden. (Aave, o. J. b)

Beträgt die offene Kreditposition beispielsweise 6'000 USD und weist einen Health Factor von 0.96 auf, dürfen davon 3'000 USD liquidiert werden. Der Liquidator begleicht in diesem Fall Schulden des Borrowers in Höhe von 3'000 USD und erhält dafür einen Liquidationsbonus von 5 %. Somit erhält er Collateral im Gegenwert von $3'000 \cdot 1.05 = 3'150$ USD.

¹Siehe `WstETHPriceCapAdapter`, Aave-CAPO-Repository, <https://github.com/bgd-labs/aave-capo/blob/main/src/contracts/lst-adapters/WstETHPriceCapAdapter.sol>.

Die Differenz von 150 USD stellt den Bruttogewinn des Liquidators dar.

Grundsätzlich kann jede Adresse eine Liquidation durchführen. Dies führt dazu, dass der Liquidationsprozess stark kompetitiv ist. Liquidatoren überwachen kontinuierlich offene Positionen im Protokoll und müssen unmittelbar reagieren, sobald der Health Factor einer Position unter eins fällt. In dieser Situation konkurrieren mehrere Liquidatoren um dieselbe Liquidationsmöglichkeit und versuchen, die Liquidation möglichst schnell auszuführen, um einen Gewinn zu realisieren . (Aave, o. J. b)

2.5 On-Chain Liquidation Events

In Aave V3 wird jede Liquidation durch das `LiquidationCall`-Event On-Chain dokumentiert. Dieses Event wird ausgelöst, sobald eine Position liquidiert wird. Das `LiquidationCall`-Event enthält sämtliche Informationen zur betroffenen Schuldposition. Dazu zählen die Adresse des als Sicherheit verwendeten Tokens (`collateralAsset`), die Adresse des zurückgezahlten Schuld-Tokens (`debtAsset`) sowie die Adresse des liquidierten Nutzers (`user`). Darüber hinaus werden die Höhe der getilgten Schuld (`debtToCover`) und die Menge des eingezogenen Collaterals (`liquidatedCollateralAmount`) dokumentiert. Ergänzend enthält das Event die Adresse des Liquidators (`liquidator`) sowie die Variable (`receiveAToken`), die angibt, ob der Liquidator das Collateral in Form von aTokens erhalten hat. (Aave, 2022)

Die Informationen aus dem `LiquidationCall`-Event bilden die zentrale Datenquelle für die empirische Analyse der Liquidationen.

3 Daten und Methodik

3.1 Datenbasis und Zeitraum

Die empirische Analyse basiert auf On-Chain-Daten aus dem Ethereum-Mainnet. Betrachtet wird der Zeitraum vom Deployment von Aave V3 auf dem Ethereum-Mainnet am 16. März 2022 bis zum 30. November 2025. Daten aus Layer-2-Netzwerken werden nicht berücksichtigt.

Zur Erhebung und Aufbereitung der On-Chain-Liquidationsdaten wurde ein eigenentwickeltes Analysewerkzeug namens „DeFi Observer“ eingesetzt, welches Aave V3 Transaktionen mit dem `LiquidationCall`-Event automatisiert aus der Ethereum-Blockchain extrahiert und strukturiert. Der Quellcode des Analysewerkzeugs ist öffentlich verfügbar.²

Der erste Datensatz umfasst sämtliche Liquidationsinformationen aus dem `LiquidationCall`-Event. Zusätzlich werden die für die jeweilige Transaktion angefallenen Gas-Kosten sowie die Preise der beteiligten Token zum Zeitpunkt der Liquidation erfasst. Die Preisbestimmung erfolgt mithilfe der Chainlink Price Feeds. Für korrelierte Vermögenswerte wie wstETH wird das *Correlated Assets Price Oracle* (CAPO) verwendet.

Der zweite Datensatz beinhaltet tägliche ETH/USD-Preisdaten aus dem Chainlink Price Feed. Pro Kalendertag wird jeweils ein Preis verwendet, konkret der letzte verfügbare Preis um 23:59 UTC.

3.2 Forschungsfragen und Hypothesen

Auf Basis der theoretischen Grundlagen sowie der Funktionsmechanismen von Aave V3 untersucht diese Arbeit die folgenden Forschungsfragen:

- Welche Token werden im Aave V3-Protokoll am häufigsten liqui-

²<https://github.com/RafaBala28/DeFi-Observer>

dert und welches Liquidationsvolumen weisen diese Token auf?

- Welchen Einfluss haben negative Preisänderungen von Ethereum auf die Häufigkeit von Liquidationen im Aave V3-Protokoll?
- Wie verteilen sich die Profite aus Liquidationen und sind diese Profite auf einzelne Liquidatoren konzentriert?

Aus den Forschungsfragen werden die folgenden Hypothesen abgeleitet, die den empirischen Analysen zugrunde liegen:

- H1:** Liquidationen konzentrieren sich auf spezifische Collateral- und Debt-Assets.
- H2:** Negative ETH-Preisänderungen erhöhen die Anzahl täglicher Liquidationen.
- H3:** Die Profite aus Liquidationen sind ungleich auf einzelne Liquidatoren verteilt.

Die formulierten Hypothesen basieren sowohl auf dem Prozess der Risikobewertung von Kreditpositionen mittels des *Health Factors* als auch auf den ökonomischen Anreizmechanismen im Liquidationsprozess. Der Liquidationsbonus erzeugt finanzielle Anreize, liquidierbare Positionen möglichst schnell zu schliessen. Dies führt zu einem Wettbewerb zwischen Liquidatoren und kann potenzielle Konzentrationseffekte bei den realisierten Profiten begünstigen.

Zunächst werden die Anzahl und das Volumen der Liquidationen nach Token deskriptiv analysiert. Anschliessend wird der Einfluss von Ethereum-Preisänderungen auf die tägliche Anzahl von Liquidationen mithilfe von Regressionsmodellen untersucht. Abschliessend wird die Verteilung der Liquidationsprofite analysiert, um mögliche Konzentrationseffekte unter den Liquidatoren empirisch zu identifizieren.

Der für die empirische Analyse verwendete R-Code sowie die aufbereiteten Datensätze sind im öffentlichen GitHub-Repository verfügbar.³

³<https://github.com/RafaBala28/aave-v3-liquidationsanalyse>

4 Empirische Analyse

4.1 Analyse nach Assets

4.1.1 Collateral-Assets

Collateral-Assets bezeichnen die Sicherheiten, die Kreditnehmer im Aave V3-Protokoll hinterlegen, um eine Borrow-Position zu eröffnen. Der Wert dieser Sicherheiten wird kontinuierlich in USD bewertet und bildet die Grundlage für die Berechnung des Health Factors.

Die Zusammensetzung der als Collateral verwendeten Assets ist durchmischt und umfasst sowohl volatile Token wie WETH als auch Stablecoins wie USDC.

Tabelle 1 zeigt die zehn am häufigsten liquidierten Collateral-Assets im Aave V3-Protokoll. Die Sortierung erfolgt nach der Anzahl der Liquidationen. Zusätzlich wird das Liquidationsvolumen als Summe des USD-Werts des eingezogenen Collaterals (`liquidatedCollateralAmount`) dargestellt.

Mit insgesamt 8'520 Liquidationen und einem kumulierten Liquidationsvolumen von rund 620 Mio. USD nimmt WETH die erste Position ein. Mit deutlichem Abstand folgen WBTC mit 1'472 Liquidationen und einem Volumen von rund 256 Mio. USD sowie wstETH mit 1'084 Liquidationen und einem Volumen von rund 278 Mio. USD.

Auffällig ist zudem, dass die Top 10 der liquidierten Collateral-Assets überwiegend aus volatilen Vermögenswerten bestehen. Lediglich USDC und USDT, die als Stablecoins klassifiziert sind, sind unter den Top 10 vertreten. Diese beiden Stablecoins machen jedoch sowohl der Anzahl der Liquidationen als auch auf das Liquidationsvolumen nur einen geringen Anteil aus.

Top 10 liquidierte Collateral-Assets (Aave V3)

Collateral Asset	Anzahl Liquidationen	Total Volumen (USD)
WETH	8'520	619'757'482
WBTC	1'472	256'331'338
wstETH	1'084	277'621'762
LINK	980	38'995'516
AAVE	815	33'796'911
USDC	381	7'433'612
rETH	201	11'367'330
USDT	191	13'868'939
UNI	152	4'899'521
cbBTC	146	30'465'546

Tabelle 1: Top 10 liquidierte Collateral-Assets auf Aave V3, sortiert nach der Anzahl der Liquidationen und dem kumulierten USD-Volumen.

4.1.2 Debt-Assets

Debt-Assets bezeichnen die Token, die von Borrowern als Kredit aufgenommen werden. Die Tabelle 2 zeigt die zehn am häufigsten liquidierten Debt-Assets sowie das zugehörige aggregierte Liquidationsvolumen, gemessen als Summe von den Liquidationen zurückgezahlten Schuldeträger (debtToCover).

Im Gegensatz zu den Collateral-Assets dominieren unter den Top 10 der Debt-Assets eindeutig Stablecoins. Angeführt wird die Liste von USDT mit 5'634 Liquidationen und einem kumulierten Liquidationsvolumen von rund 555 Mio. USD, dicht gefolgt von USDC mit 5'603 Liquidationen und einem Volumen von rund 571 Mio. USD. Auf dem dritten Platz befindet sich der protokolleigene Stablecoin GHO, der mit deutlichem Abstand 772 Liquidationen und ein Liquidationsvolumen von rund 22 Mio. USD aufweist.

Der erste volatile Token, WETH, befindet sich auf dem fünften Platz und weist 497 Liquidationen sowie ein Liquidationsvolumen von rund

20 Mio. USD auf.

Top 10 liquidierte Debt-Assets (Aave V3)		
Debt-Asset	Liquidationen	Liquidationsvolumen (USD)
USDT	5'634	554'873'329
USDC	5'603	571'447'245
GHO	772	21'695'646
DAI	645	50'082'201
WETH	497	19'824'443
WBTC	378	57'388'799
RPL	162	4'743'411
LINK	133	6'346'845
PYUSD	117	2'601'437
wstETH	95	347'804

Tabelle 2: Top 10 liquidierte Debt-Assets auf Aave V3, sortiert nach der Anzahl der Liquidationen und dem kumulierten USD-Volumen.

4.1.3 Liquidationspaare

Nachdem die Collateral- und Debt-Assets separat untersucht wurden, richtet sich der Fokus nun auf die Kombinationen aus Collateral- und Debt-Assets. Abbildung 1A. zeigt die Anzahl der Liquidationen für die Top 10 der beobachteten Liquidationspaare.

Die Paarung WETH/USDT stellt mit 3'551 Liquidationen das am häufigsten liquidierte Asset-Paar dar, dicht gefolgt von WETH/USDC mit 3'392 Liquidationen. Mit deutlichem Abstand folgen Liquidationen, bei denen WBTC als Collateral verwendet wurde, wie die Paare WBTC/USDT mit 640 Liquidationen sowie WBTC/USDC mit 555 Liquidationen.

Die Abbildung 1B. visualisiert die Top 10 der liquidierten Asset-Paare nach Liquidationsvolumen. Das dargestellte Volumen basiert auf der Summe von Liquidationen zurückgezahlten Schuldbeträge (`debtToCover`). Es zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie bei der Analyse der Anzahl der Liquidationen: Das Liquidationsvolumen ist stark auf wenige Asset-Paare

konzentriert.

Die am stärksten hervorgehobenen Asset-Paare kombinieren die beiden Stablecoins USDC und USDT als Debt-Assets mit WETH als Collateral und weisen die höchsten Liquidationsvolumina auf. Für das Asset-Paar WETH/USDC ergibt sich ein aggregiertes Liquidationsvolumen von über 266 Mio. USD, während das Paar WETH/USDT ein Volumen von rund 238 Mio. USD erreicht.

Im Vergleich dazu fällt das Liquidationsvolumen für WBTC/WETH mit rund 2.2 Mio. USD deutlich geringer aus.

Liquidationspaare auf Aave V3: Anzahl und Volumen

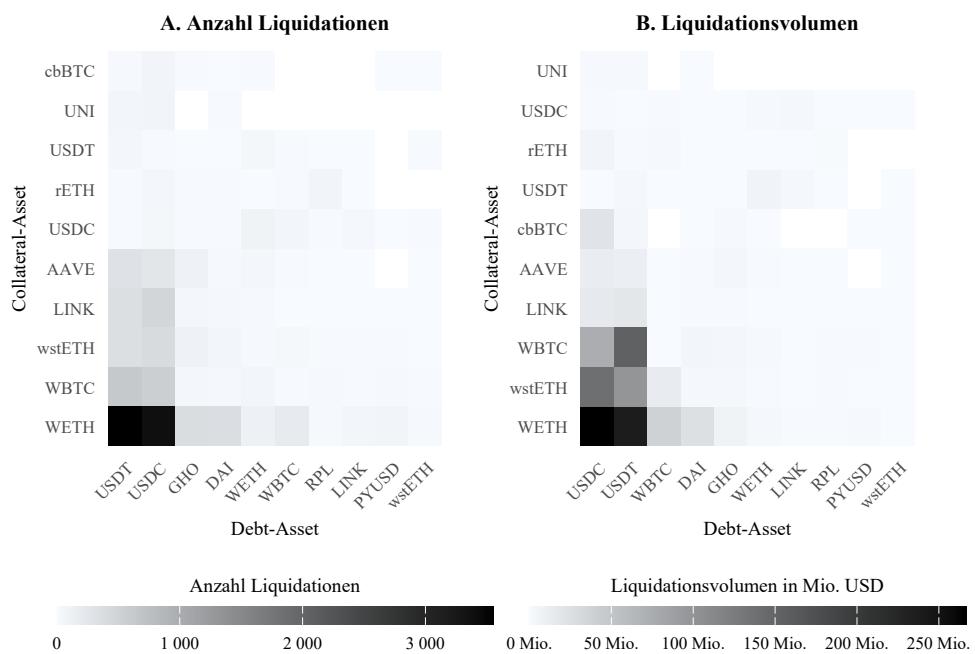


Abbildung 1: Heatmaps der Liquidationsaktivität zwischen den Top-10 Collateral- und Debt-Assets auf Aave V3. Teilabbildung (A) zeigt die Anzahl der Liquidationsereignisse je Collateral–Debt-Kombination, während Teilabbildung (B) das entsprechende Liquidationsvolumen in Millionen USD darstellt.

Die Ergebnisse der beiden Heatmaps sowie die vorherigen Analysen der Collateral- und Debt-Assets zeigen eine Konzentration der Liquidationsaktivität und des Liquidationsvolumens auf bestimmte Token und Paare

im Aave V3-Protokoll.

Auf der Debt-Seite treten sowohl die meisten Liquidationen als auch das höchste Liquidationsvolumen bei den beiden Stablecoins USDC und USDT auf. Auf der Collateral-Seite dominieren hingegen vor allem volatile Token wie WETH, WBTC und wstETH. Diese Muster zeigen sich konsistent in den beobachteten Liquidationspaaren.

4.2 Liquidationen im Zeitverlauf

Seit dem Deployment von Aave V3 am 16. März 2022 bis zum 30. November 2025 wurden insgesamt 14'674 Liquidationen beobachtet. Das Liquidationsvolumen (`debtToCover`) beläuft sich in diesem Zeitraum auf rund 1.31 Mrd. USD.

Die Abbildung 2 zeigt die zeitliche Entwicklung des monatlichen Liquidationsvolumens im Aave-V3-Protokoll sowie den entsprechenden ETH-Preis. Es ist erkennbar, dass in Phasen stark fallender Ethereum-Preise das Liquidationsvolumen deutlich höher ist als in Perioden steigender Preise. Dies deutet darauf hin, dass Preisrückgänge von Ethereum eine Rolle bei der Auslösung von Liquidationen spielen könnten. Gleichzeitig zeigt die Abbildung 2, dass nicht jede Preisbewegung unmittelbar zu erhöhter Liquidationsaktivität führt.

Monatliches Liquidationsvolumen und ETH-Preis (Aave V3)

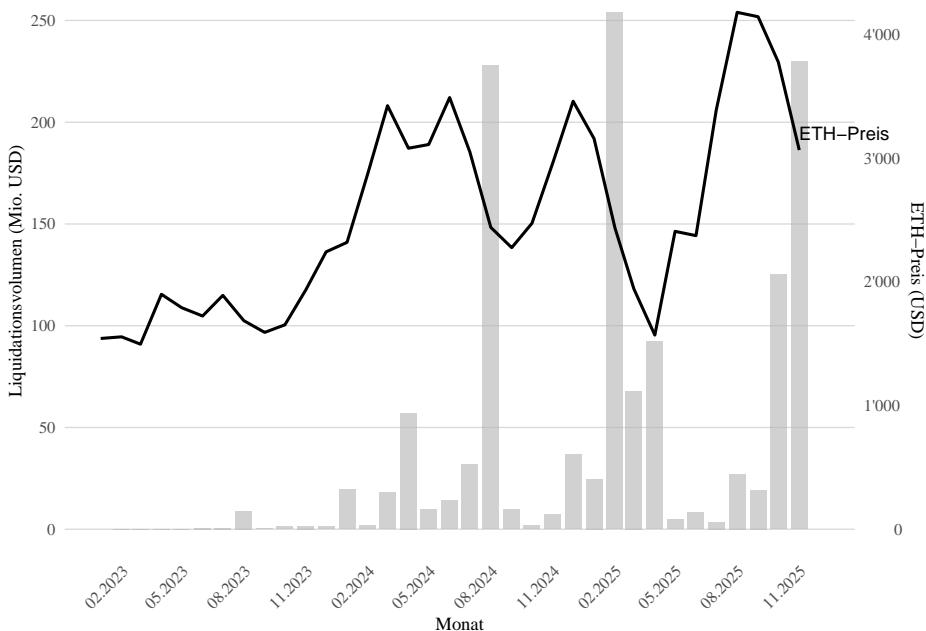


Abbildung 2: Monatliches Liquidationsvolumen im Aave-V3-Protokoll und ETH-Preis.

4.2.1 Regression: ETH-Preisänderungen und Liquidationen

Ziel und Zeitraum Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen ETH-Preisänderungen und der Liquidationsaktivität wird die tägliche Preisentwicklung von Ethereum (ETH) betrachtet. Ziel der Regression ist es, zu untersuchen, ob und in welchem Ausmass Veränderungen des Ethereum-Preises die tägliche Liquidationsaktivität beeinflussen. Als Startpunkt der Analyse dient der 24. Januar 2023. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da er eine Woche vor der ersten dokumentierten Liquidation im Aave V3-Protokoll liegt.

Model 1: Preisreaktion Für die Regression werden die täglichen Preisänderungen des ETH/USD-Kurses verwendet. Die Liquidationen werden auf Tagesebene als Anzahl pro Tag zusammengefasst

Im Modell 1 wird der Zusammenhang zwischen aktuellen sowie verzöger-

ten ETH-Preisänderungen und der Anzahl täglicher Liquidationen untersucht. Die abhängige Variable ist die logarithmierte Anzahl der Liquidationen pro Tag, $\ln(\text{Liquidations}_t + 1)$. Diese Transformation dient dazu, auch Tage ohne Liquidationen zu berücksichtigen und zur Reduktion von Rechtsschiefe. Diese Rechtsschiefe entsteht, weil an vielen Tagen keine oder nur sehr wenige Liquidationen beobachtet werden. Während es an einzelnen Tagen zu einer sehr hohen Anzahl von Liquidationen kommt. So wurden am 5. August 2024 insgesamt 1'269 Liquidationen verzeichnet, was den höchsten Tageswert im gesamten Beobachtungszeitraum darstellt.

Die Variablen umfassen aktuelle sowie um einen Tag verzögerte ETH-Renditen. Die Variable neg_ret_t erfasst negative tägliche ETH-Renditen (Renditen ≤ 0) und bildet kurzfristige negative Preisänderungen innerhalb der letzten 24 Stunden ab. Entsprechend misst pos_ret_t positive tägliche ETH-Renditen (Renditen > 0).

Zur Erfassung zeitlich verzögter Effekte werden zusätzlich die um einen Tag verzögerten Renditen neg_ret_{t-1} und pos_ret_{t-1} in das Modell aufgenommen. Die Referenzkategorie bildet ein Tag ohne ETH-Preisänderung.

Die Regressionsgleichung für dieses lautet:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Liquidations}_t + 1) = & \beta_0 + \beta_1 \text{neg_ret}_t + \beta_2 \text{pos_ret}_t \\ & + \beta_3 \text{neg_ret}_{t-1} + \beta_4 \text{pos_ret}_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2)$$

Modell 2: Verhalten der Debt-Asset-Klasse Im Modell 2 wird die Regression um eine Variable ergänzt, welche die Assetklasse der Schuld abbildet. Ziel ist es zu untersuchen, ob sich die Preisreaktionen von Liquidationen zwischen stabilen und volatilen Schuldpositionen unterscheiden.

Die Dummy-Variable volatile_debt_t nimmt den Wert eins an, wenn die liquidierte Schuldposition auf einem volatilen Asset wie WETH oder WBTC basiert. Andernfalls nimmt die Variable den Wert null an, das heisst, es handelt sich um eine wertstabile Schuldposition, beispielsweise einen Stablecoin wie USDC.

Zur Analyse möglicher Unterschiede zwischen den beiden Assetklassen (volatilen Token vs. Stablecoins) wird zusätzlich der Interaktionsterm $pos_ret_t \times volatile_debt_t$ in das Modell aufgenommen. Dieser Term misst, ob positive ETH-Preisänderungen einen unterschiedlichen Einfluss auf die Anzahl der Liquidationen haben, abhängig davon, ob die zugrundeliegende Schuldposition auf einem Stablecoin oder einem volatilen Token basiert. In diesem zweiten Modell bilden Liquidationen von Kreditpositionen mit Stablecoins als Schuld bei keiner ETH-Preisänderung die Referenzkategorie.

Die Regressionsgleichung für Modell 2 lautet:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Liquidationen}_t + 1) = & \beta_0 + \beta_1 neg_ret_t + \beta_2 pos_ret_t \\ & + \beta_3 volatile_debt_t \\ & + \beta_4 pos_ret_t \times volatile_debt_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3)$$

Ergebnisse der Regression Tabelle 3 zeigt die Schätzergebnisse der beiden Regressionsmodelle. Die Regressionsanalysen basieren auf 769 Tagesbeobachtungen für Modell 1 und 1'126 Tagesbeobachtungen für Modell 2. Die unterschiedliche Anzahl an Beobachtungen ergibt sich aus der Verwendung verzögerter Renditen sowie aus der Berücksichtigung der Debt-Asset-Klassifikation im zweiten Modell.

Regressionsergebnisse: Preisreaktion und Debt-Asset

	Modell 1: Preisreaktion mit Verzögerung	Modell 2: Debt-Assets mit Interaktion
(Intercept)	1.026*** (0.050)	1.375*** (0.050)
neg_ret	-29.933*** (1.976)	-21.777*** (1.773)
pos_ret	4.560*** (1.346)	-1.488 (2.088)
neg_ret_lag1	-20.338*** (2.472)	
pos_ret_lag1	1.647 (1.395)	
volatile_debtTRUE		-0.659*** (0.058)
pos_ret × volatile_debtTRUE		11.494*** (2.264)
Num. Obs.	769	1126
R ² adj.	0.444	0.284

*p < 0.1, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001*

Tabelle 3: Schätzergebnisse der beiden Regressionsmodelle zur Analyse des Zusammenhangs zwischen ETH-Preisänderungen und der täglichen Liquidationsaktivität. Modell 1 untersucht die Wirkung aktueller sowie verzögter ETH-Renditen, während Modell 2 zusätzlich zwischen stabilen und volatilen Schuldpositionen unterscheidet und einen Interaktionsterm zwischen positiven Renditen und volatiler Schuldstruktur berücksichtigt. Robuste Standardfehler sind in Klammern angegeben.

Ergebnis Modell 1 Die Schätzung von Modell 1 zeigt einen hochsignifikanten Koeffizienten für die Variable *neg_ret*. Der geschätzte Effekt ist stark negativ und weist darauf hin, dass negative Preisänderungen von Ethereum mit einer deutlichen Zunahme der täglichen Anzahl von Liquidationen einhergehen. Auch die um einen Tag verzögerte negative Preisänderung (*neg_ret_{t-1}*) ist hochsignifikant, was auf einen zeitlich verzögerten Effekt negativer ETH-Preisbewegungen auf das Liquidationsgeschehen hindeutet.

Der Koeffizient der positiven Preisänderung (*pos_ret*) ist ebenfalls statistisch signifikant, fällt jedoch deutlich geringer aus als der der negativen Preisänderung. Dies zeigt, dass positive ETH-Preisbewegungen ebenfalls

mit einer Zunahme von Liquidationen einhergehen. Für die verzögerte positive Preisänderung (pos_ret_{t-1}) lässt sich hingegen kein statistisch signifikanter Zusammenhang feststellen.

Beispielsweise impliziert das Modell, dass ein kurzfristiger Rückgang des ETH-Preises um 5 % ($neg_ret_t = -0.05$) *ceteris paribus* mit einer etwa 4.5-fachen Erhöhung der erwarteten Liquidationsaktivität einhergeht. Ein gleich grosser kurzfristiger Preisanstieg von 5 % ($pos_ret_t = 0.05$, $neg_ret_t = 0$) ist hingegen mit einem Anstieg der Liquidationen um rund 26 % verbunden.⁴

Ergebnis Modell 2 Die Dummy-Variable *volatile_debt* weist einen hochsignifikanten negativen Koeffizienten auf. Dies deutet darauf hin, dass in der Referenzkategorie ohne ETH-Preisänderung Liquidationen bei volatilen Schuld-Assets seltener auftreten als bei Stablecoin-basierten Schuldpositionen.

Für Stablecoin-basierte Schuldpositionen lässt sich hingegen kein statistisch signifikanter Effekt positiver ETH-Preisänderungen feststellen.

Der Interaktionsterm zwischen positiven ETH-Preisänderungen und volatilen Schuldpositionen ($pos_ret \times volatile_debt$) ist ebenfalls hochsignifikant und positiv. Dieses Ergebnis zeigt, dass positive Preisänderungen von ETH einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Liquidationsaktivität haben, wenn die zugrunde liegende Schuldposition auf einem volatilen Asset basiert. Für Stablecoin-basierte Schuldpositionen lässt sich hingegen kein statistisch signifikanter Effekt positiver ETH-Preisänderungen feststellen.

Insgesamt zeigt Modell 2, dass positive ETH-Preisänderungen nur bei volatilen Schuld-Assets einen signifikanten Einfluss auf die Liquidationsaktivität haben.

⁴Die Effekte ergeben sich aus der Exponentialtransformation $\exp(\beta_1 \cdot -0.05)$ und $\exp(\beta_2 \cdot 0.05)$

4.3 Analyse der Liquidatoren

Für die Analyse der Liquidatoren war erneut das `LiquidationCall`-Event zentral für die Datenauswertung. Zusätzlich wurden für die Profitberechnung die im Rahmen der Liquidationstransaktionen angefallenen Gasgebühren berücksichtigt. Diese wurden zum Zeitpunkt der jeweiligen Transaktion in USD bewertet.

Der Brutto-Gewinn einer Liquidation wird aus der Differenz zwischen dem Wert des liquidierten Collaterals (`liquidatedCollateralAmount`) und dem Gesamtwert der zurückgezahlten Schuld (`debtToCover`) berechnet. Zur Bestimmung des Netto-Gewinns werden anschliessend die in USD bewerteten Gas-Kosten vom Brutto-Gewinn abgezogen.

4.3.1 Anzahl und Gewinn der Liquidatoren

Im untersuchten Zeitraum wurden insgesamt 14'674 Liquidationen beobachtet, die auf 197 unterschiedliche Liquidatoren verteilt sind. Diese Beobachtung liefert einen ersten Hinweis auf mögliche Konzentrationseffekte, die im Folgenden anhand der Aktivität sowie der Verteilung der Liquidationsprofite genauer untersucht werden.

	Min	Q1	Median	Mean	Q3	Max
Liquidationen	1	2	7	74.5	58	1'242
Netto-Gewinn	-55'533	-0.20	1'325	313'652	116'380	13'681'530

Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Anzahl durchgeföhrter Liquidationen sowie des kumulierten Netto-Profits in USD pro Liquidator. Min und Max bezeichnen den kleinsten und grössten Wert, Q1 und Q3 das untere und obere Viertel der Verteilung, Median den mittleren Wert und Mean den Durchschnitt.

Die Tabelle 4 fasst die Aktivität und Profitabilität der Liquidatoren im untersuchten Zeitraum zusammen. Während der Median der durchgeföhrten Liquidationen pro Liquidator bei 7 liegt, beträgt der Durchschnitt 74.5. Dieser deutliche Unterschied weist auf eine stark rechtschiefe Verteilung der Liquidationsaktivität hin. Eine kleine Anzahl sehr

aktiver Liquidatoren führt einen grossen Teil der gesamten Liquidationen durch.

Ein ähnliches Muster zeigt sich bei den kumulierten Netto-Profiten in USD. Der Median liegt bei 1'325 USD, während der Durchschnitt mit 313'652 USD deutlich höher ausfällt. Auffällig ist, dass der Durchschnitt sowohl bei der Anzahl der Liquidationen als auch beim kumulierten Netto-Gewinn jeweils deutlich über dem dritten Quartil (Q3) liegt. Dies deutet auf eine starke Konzentration von Aktivität und Profiten auf wenige Liquidatoren hin.

Das erste Quartil (Q1) der kumulierten Netto-Profite liegt leicht unter null, was darauf hindeutet, dass rund ein Viertel der Liquidatoren Verluste erzielt. Der negative Minimalwert verdeutlicht zudem, dass Liquidationen mit Kosten und Risiken verbunden sind und nicht zwangsläufig profitabel verlaufen.

4.3.2 Top 10 Liquidatoren

Tabelle 5 zeigt die zehn profitabelsten Liquidatoren im Aave V3-Protokoll, sortiert nach kumuliertem Netto-Gewinn, und gibt einen Überblick über deren gesamten Aktivität sowie über Brutto-Gewinne, Gas-Kosten und Netto-Gewinne.

Der Liquidator 0xf0570E...0004 hebt sich dabei deutlich von den übrigen Liquidatoren ab und erzielt mit 776 durchgeführten Liquidationen einen kumulierten Netto-Gewinn von über 13.6 Mio. USD. Auch die weiteren Top-Liquidatoren realisieren jeweils Netto-Gewinne im Millionenbereich. Darüber hinaus ist der profitabelste Liquidator auch unter den grössten Einzelliquidationen vertreten (siehe Tabelle 6 im Anhang).

Auffällig sind zudem die vergleichsweise niedrigen Gas-Kosten einzelner Top-Liquidatoren, insbesondere die gesamten Gas-Kosten von lediglich 8'007 USD des Liquidators 0xf0570E...0004. Sowohl im Verhältnis zum realisierten Brutto-Gewinn als auch auf Ebene der einzelnen Transaktionen (siehe Tabelle 6) deutet dies auf eine besonders effiziente Abwicklung

Top 10 Liquidatoren nach Netto-Gewinn

Liquidator	Liquidationen	Brutto-Gewinn	Gas-Kosten	Netto-Gewinn
0xf0570E...0004	776	13'689'537	8'007	13'681'530
0x9D6b91...02d8	362	3'893'913	37'983	3'855'929
0x645451...4bFA	291	3'440'080	121'528	3'318'552
0xb441De...6fDA	1'092	3'182'044	48'947	3'133'097
0x6980a4...BDD0	154	3'141'902	27'205	3'114'698
0x000000...0E49	1'242	3'394'200	685'366	2'708'834
0x167f6e...1340	223	2'496'349	115'846	2'380'503
0x890651...a17C	109	2'277'603	14'049	2'263'554
0x8Ce45e...42b2	1'038	2'261'897	62'136	2'199'761
0x03BD05...0003	216	2'029'243	24'686	2'004'558

Tabelle 5: Top 10 Liquidatoren im Aave V3-Protokoll, sortiert nach kumuliertem Netto-Gewinn. Die Tabelle zeigt die Anzahl durchgeföhrter Liquidationen sowie Brutto-Gewinne, Gas-Kosten und Netto-Gewinne in USD.

der Liquidationen hin.

Gleichzeitig stellen Gas-Kosten ein wesentliches Risiko für Liquidatoren dar, da sie den realisierten Brutto-Gewinn erheblich reduzieren oder vollständig aufheben können. Dies zeigt sich bei den unprofitabelsten Liquidatoren, die im Anhang dargestellt sind (siehe Tabelle 7). Eine Analyse der Ursachen der unterschiedlichen Gas-Kosten liegt ausserhalb des Untersuchungsrahmens dieser Arbeit und bleibt zukünftigen Studien vorbehalten.

4.3.3 Verteilung der Profite

Für die Berechnung des Gini-Koeffizienten und der Lorenzkurve werden die kumulierten Netto-Profiten der Liquidatoren verwendet. Negative Werte, die durch hohe Gasgebühren entstehen können, werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Der Gini-Koeffizient beträgt 0.84 und weist auf eine sehr starke Ungleichverteilung der Profite hin. Ein grosser Teil der gesamten Gewinne wird von einer kleinen Anzahl von Liquidatoren erzielt, während der überwiegende Teil der Marktteilnehmer nur geringe oder keine positiven Netto-Profiten erzielt.

Die Abbildung 3 veranschaulicht diese Ungleichverteilung graphisch. Während die Diagonale eine vollständig gleichmässige Verteilung der Profite darstellen würde, zeigt die stark gekrümmte Lorenzkurve eine ausgeprägte Konzentration der Netto-Profiten auf wenige aktive Liquidatoren. Ein Grossteil der Liquidatoren trägt nur einen geringen Teil zu den gesamten Netto-Profiten bei, während die Profitkonzentration erst bei einem hohen kumulierten Anteil der Liquidatoren stark zunimmt.

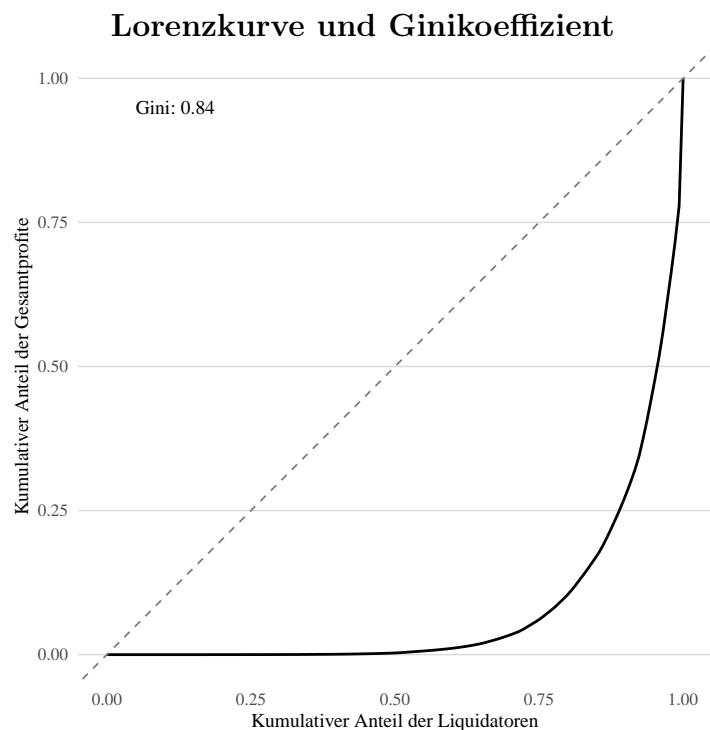


Abbildung 3: Lorenzkurve der Liquidationsprofite. Die Diagonale stellt die Gleichverteilung dar, während die Lorenzkurve die tatsächliche Konzentration der Profite über die Liquidatoren abbildet. Der Gini-Koeffizient beschreibt den Grad der Ungleichverteilung.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Ergebnisse und Interpretation

Hypothese H1: Die empirische Analyse zeigt, dass sich Liquidationen im Aave V3-Protokoll sowohl auf der Collateral- als auch auf der Debt-Seite stark auf bestimmte Token konzentrieren. Die Heatmaps verdeutlichen diese Konzentration und stützen damit Hypothese **H1**, welche folglich angenommen werden kann.

Auf der Collateral-Seite entfallen die meisten Liquidationen auf WETH. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Aave primär auf der Ethereum-Blockchain betrieben wird und Ethereum eine zentrale Rolle als Sicherheitsleistung im Protokoll einnimmt. Auf der Debt-Seite dominieren hingegen Stablecoins, insbesondere USDC und USDT, die den grössten Anteil der aufgenommenen Kredite ausmachen.

Für Nutzer kann diese Struktur attraktiv sein, da sie WETH als Collateral hinterlegen und gleichzeitig durch die Aufnahme von Stablecoins liquide bleiben können. Dadurch besteht weiterhin die Möglichkeit, von potenziellen Kursanstiegen von Ethereum zu profitieren, während gleichzeitig Liquidität zur Verfügung steht.

Hypothese H2: Mithilfe der linearen Regression zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen fallenden Ethereum-Preisen und der täglichen Anzahl von Liquidationen. Darüber hinaus weist das Modell auf einen signifikanten Verzögerungseffekt negativer Preisänderungen hin, so dass Preisrückgänge nicht nur kurzfristig, sondern auch mit zeitlicher Verzögerung zu einer erhöhten Liquidationsaktivität führen. Die Ergebnisse der durchgeführten Regression stützen somit die Hypothese **H2**.

Eine zusätzliche Robustheitsanalyse unter Einbezug der Preisvolatilität von ETH bestätigt die bisherigen Effekte (siehe Tabelle 8 im Anhang).

Wie die Ergebnisse zur Asset-Analyse im zeigen, wird ein grosser Teil der Liquidationen durch Positionen verursacht, bei denen WETH als Colla-

teral hinterlegt ist. Sinkende ETH-Preise reduzieren den Wert dieser Sicherheiten und verschlechtern damit den Health Factor der betroffenen Positionen, wodurch Liquidationen ausgelöst werden.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass auch positive Kursänderungen von ETH statistisch signifikant zu einer erhöhten Liquidationsaktivität führen können. Die weiterführende Analyse mithilfe von Modell 2 zeigt, dass positive Kursänderungen von ETH/USD bei Schuldpositionen mit volatilen Assets mit einer stärkeren Zunahme der Liquidationsanzahl einhergehen als bei Stablecoin-basierten Schuldpositionen.

Ein Blick auf die Definition des Health Factors (siehe Gleichung 1) verdeutlicht, dass nicht nur ein Rückgang des Collateral-Werts, sondern auch ein Anstieg des Werts der aufgenommenen Schuld zu einer Verschlechterung des Health Factors führen kann. Bei Schuldpositionen mit volatilen Token kann ein Preisanstieg somit ebenfalls dazu beitragen, dass der Health Factor unter den kritischen Schwellenwert von eins fällt und eine Liquidation ausgelöst wird. Dieser Zusammenhang wird durch Modell 2 empirisch gestützt.

Hypothese H3: Die empirischen Beobachtungen zeigen, dass die aus Liquidationen resultierenden Profite ungleich auf die Liquidatoren verteilt sind. Der berechnete Gini-Koeffizient von 0.84 weist auf eine stark konzentrierte Verteilung der realisierten Netto-Profit hin, was auch durch die Lorenzkurve verdeutlicht wird. Somit wird ein grosser Teil der Gesamtgewinne von wenigen Liquidatoren erzielt. Die Ergebnisse bestätigen damit die Hypothese **H3**.

Auffällig dabei ist der Liquidator 0xf0570E...0004, der im Vergleich zu anderen Akteuren sehr hohe Netto-Gewinne bei gleichzeitig vergleichsweise niedrigen Gas-Kosten realisiert. Dies spricht für eine besonders effiziente Transaktionsabwicklung und für potenzielle Vorteile gegenüber anderen Liquidatoren.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Liquidationsgeschäft im untersuchten Zeitraum von Skaleneffekten, technologischen Vorteilen sowie

möglichen Wettbewerbsvorteilen einzelner Akteure geprägt ist.

5.2 Limitationen der Analyse

Eine detaillierte Betrachtung einzelner Liquidationstransaktionen zeigt, dass diese nicht ausschliesslich innerhalb des Aave-Protokolls stattfinden. Liquidatoren nehmen vor der Durchführung einer Liquidation häufig kurzfristig Kapital in Form von Flash Loans auf, um die Schuld des Borrowers zu begleichen. Flash Loans sind ausschliesslich innerhalb einer ausgeführten Transaktion gültig und müssen vollständig innerhalb derselben Transaktion zurückgezahlt werden (Qin et al., 2021, S. 4).

Innerhalb dieser Flash-Loan-Transaktionen wird das bei einer Liquidation erhaltene Collateral häufig über dezentrale Börsen wie Uniswap in andere Token umgetauscht. Bei diesen zusätzlichen Transaktionsschritten können Slippage-Effekte auftreten, insbesondere bei Token mit geringer Marktliquidität oder bei Transaktionen mit hohem Volumen. Slippage bezeichnet die Preisabweichung zwischen dem Zeitpunkt der Transaktionsauslösung und der tatsächlichen Ausführung und ist eine direkte Folge der Preisbildungsmechanik in Automated-Market-Maker-(AMM)-Pools (Mohan, 2022, S. 19). Dieser Effekt wurde in der Profitberechnung nicht berücksichtigt.

5.3 Zukünftige Forschung

Die Ergebnisse der Profitanalyse zeigen, dass einzelne Liquidatoren vergleichsweise geringe Gas-Kosten aufweisen. Ein Ansatz für zukünftige Forschung besteht darin, die Ursachen dieser Kostenvorteile einzelner Akteure näher zu untersuchen.

Insbesondere wäre es interessant zu analysieren, ob Liquidatoren unterschiedliche strategische Ansätze verfolgen, etwa in Bezug auf den Zeitpunkt der Liquidation oder die Auswahl bestimmter Token. Darüber hinaus könnte untersucht werden, ob eine Zusammenarbeit mit Block-

Buildern oder anderen Akteuren im Transaktionsprozess mögliche Vorteile für Liquidatoren bietet.

6 Konklusion

Ziel dieser Arbeit war es, die Dynamik von Liquidationen im Aave V3-Protokoll auf dem Ethereum-Mainnet empirisch zu untersuchen. Im Fokus der Arbeit stand die Analyse der bei Liquidationen verwendeten Token auf der Collateral- und der Debt-Seite. Zudem wurde der Einfluss von Ethereum-Preisänderungen auf die Liquidationsaktivität untersucht. Abschliessend wurde die Verteilung der aus Liquidationen resultierenden Profite auf die Liquidatoren analysiert.

Die empirischen Ergebnisse zeigen, dass sich die bei Liquidationen verwendeten Assets sowohl auf der Collateral- als auch auf der Debt-Seite stark auf wenige Token konzentrieren. Zudem konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen negativen Ethereum-Preisänderungen und der Anzahl täglicher Liquidationen nachgewiesen werden. Auch zeitlich verzögerte Effekte negativer Preisänderungen erweisen sich als signifikant. Für positive Preisänderungen zeigt sich hingegen lediglich ein kurzfristiger Effekt von bis zu 24 Stunden. Dieser Effekt betrifft Positionen mit volatilen Debt-Assets.

Die Analyse der Liquidatoren zeigt eine ungleiche Verteilung der Liquidationsprofite. Diese Ungleichverteilung wird sowohl durch den hohen Gini-Koeffizienten als auch durch die Lorenzkurve deutlich.

Ein Teil der Liquidatoren erzielt keine oder nur geringe Gewinne und teilweise sogar Verluste. Im Gegensatz dazu erreichen einzelne Liquidatoren Netto-Gewinne in Millionenhöhe. Liquidationen stellen daher keinen risikolosen Gewinnmechanismus dar, sondern erfordern eine effiziente technische Infrastruktur sowie eine präzise Kontrolle der Transaktionskosten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen empirischen Beitrag zum Verständnis von Liquidationen in dezentralen Lending-Protokollen wie Aave.

Verwendete Hilfsmittel

Zur sprachlichen Überarbeitung und Strukturierung des Textes wurden ChatGPT und DeepL Write verwendet. ChatGPT wurde zur Unterstützung des R-Codes eingesetzt.

Literaturverzeichnis

- Aave. (2020a, Januar). Aave Protocol Whitepaper v1.0. https://github.com/aave/aave-protocol/blob/master/docs/Aave_Protocol_Whitepaper_v1_0.pdf.
- Aave. (2020b). Aave Protocol Whitepaper v2.0. <https://github.com/aave/protocol-v2/blob/master/aave-v2-whitepaper.pdf>.
- Aave. (2022). Aave V3 Core Contracts – LiquidationLogic. Abgerufen am 2. Januar 2026 unter <https://github.com/aave/aave-v3-core/blob/master/contracts/protocol/libraries/logic/LiquidationLogic.sol>.
- Aave. (o. J. a). Governance. Abgerufen am 25. Dezember 2025 unter <https://docs-aave.vercel.app/docs/ecosystem/governance>.
- Aave. (o. J. b). Health Factor & Liquidations. Abgerufen am 1. Dezember 2025 unter <https://aave.com/help/borrowing/liquidations>.
- Aave. (o. J. c). Key Reserve Parameters. Abgerufen am 22. Dezember 2025 unter <https://docs-aave.vercel.app/docs/aave-v3/concepts/reserve>.
- Aave. (o. J. d). Oracle. Abgerufen am 5. Januar 2026 unter <https://docs-aave.vercel.app/docs/ecosystem/oracle>.
- BGD Labs. (2025, Dezember). Aave Correlated Assets Price Oracle (CA-PO). Abgerufen am 24. Dezember 2025 unter <https://github.com/bgd-labs/aave-capo/blob/main/src/contracts/lst-adapters/WstETHPriceCapAdapter.sol>.
- Breidenbach, L., Cachin, C., Chan, B., Coventry, A., Ellis, S., Juels, A., Koushanfar, F., Miller, A., Magauran, B., Moroz, D., Nazarov, S., Topliceanu, A., Tramer, F., & Zhang, F. (2021). “Chainlink 2.0: Next Steps in the Evolution of Decentralized Oracle Networks”. <https://research.chain.link/whitepaper-v2.pdf>.
- Caldarelli, G. (2020). “Understanding the Blockchain Oracle Problem: A Call for Action”. *Information*, **11**: (11), 509. <https://doi.org/10.3390/info11110509>

- DeFiLlama. (2026a, Januar). DeFi Dashboard. Abgerufen am 2. Januar 2026 unter <https://defillama.com>.
- DeFiLlama. (2026b, Januar). DeFiLlama Aave Protokoll. Abgerufen am 3. Januar 2026 unter <https://defillama.com/protocol/aave>.
- Emilio Frangella & Lasse Herskind. (2022, Januar). Aave_V3_Technical_Paper. https://github.com/aave-dao/aave-v3-origin/blob/main/docs/Aave_V3_Technical_Paper.pdf.
- Mohan, V. (2022). “Automated market makers and decentralized exchanges: a DeFi primer”. *Financial Innovation*, **8**: (1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00314-5>
- Ozili, P. K. (2022). “Decentralized finance research and developments around the world”. *Journal of Banking and Financial Technology*, **6**: (2), 117–133. <https://doi.org/10.1007/s42786-022-00044-x>
- Qin, K., Zhou, L., Livshits, B., & Gervais, A. (2021, März). Attacking the DeFi Ecosystem with Flash Loans for Fun and Profit [arXiv:2003.03810 [cs]]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.03810>
- Schär, F. (2021). “Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets”. *Review*, **103**: (2). <https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>

Plagiatserklärung

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich meine Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst habe und meine Angaben über die bei der Abfassung meiner Arbeit benützten Quellen in jeder Hinsicht der Wahrheit entsprechen und vollständig sind. Alle Quellen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.

Des Weiteren versichere ich, sämtliche Textpassagen, die unter Zuhilfenahme KI-gestützter Programme verfasst wurden, entsprechend gekennzeichnet sowie mit einem Hinweis auf das verwendete KI-gestützte Programm versehen zu haben.

Eine Überprüfung der Arbeit auf Plagiate und KI-gestützte Programme – unter Einsatz entsprechender Software – darf vorgenommen werden. Ich habe zur Kenntnis genommen, dass unlauteres Verhalten zu einer Bewertung der betroffenen Arbeit mit einer Note 1 oder mit «nicht bestanden» bzw. «fail» oder zum Ausschluss vom Studium führen kann.

Ich habe das Merkblatt zu Plagiat und Betrug vom 3. März 2022 gelesen und bin mir der Konsequenzen eines solchen Handelns bewusst.

Rafael Balasteguim da Silva

Basel, 05.01.2026



7 Anhang

Grösste Liquidationen nach Netto-Gewinn (Top 25)

Liquidator	Asset-Paar	Brutto-Gewinn	Gas-Kosten	Netto-Gewinn
0xf0570E...0004	WBTC / USDT	1'150'383.5	14.23	1'150'369.3
0xf0570E...0004	wstETH / USDT	713'416.4	0.96	713'415.4
0x9D6b91...02d8	WETH / USDT	560'777.3	1'212.09	559'565.2
0x0C0435...34DE	WBTC / USDT	505'994.6	44.74	505'949.9
0x000000...0E49	wstETH / USDC	482'199.9	6.15	482'193.7
0x9D6b91...02d8	sUSDe / USDT	463'443.8	14.62	463'429.2
0xf0570E...0004	wstETH / USDT	462'138.6	14.55	462'124.0
0xf0570E...0004	WBTC / USDT	448'611.2	1.81	448'609.4
0xf0570E...0004	wstETH / USDT	444'550.7	26.29	444'524.4
0x645451...4bFA	WETH / USDC	439'596.9	828.76	438'768.1
0xf0570E...0004	wstETH / USDC	438'643.2	20.32	438'622.9
0xf0570E...0004	WBTC / USDT	419'727.2	0.53	419'726.7
0x9D6b91...02d8	WBTC / USDT	408'436.8	73.52	408'363.3
0xf0570E...0004	wstETH / USDC	398'845.9	0.47	398'845.4
0x645451...4bFA	WETH / DAI	359'042.9	1'183.81	357'859.1
0xF6087f...EF36	WBTC / USDT	357'635.5	16.96	357'618.6
0xf0570E...0004	wstETH / USDT	356'650.1	7.69	356'642.4
0xf0570E...0004	wstETH / USDC	323'989.1	4.77	323'984.3
0xf0570E...0004	wstETH / USDT	323'718.1	6.36	323'711.7
0x4Ff05f...304E	WETH / USDT	310'059.2	2.05	310'057.1
0x13cf88...35be	weETH / USDC	309'400.7	1'411.31	307'989.4
0xf0570E...0004	WBTC / USDT	302'740.6	4.84	302'735.7
0x6980a4...BDD0	WETH / USDC	286'287.7	65.60	286'222.1
0xf0570E...0004	wstETH / USDC	282'089.6	40.44	282'049.1
0x645451...4bFA	WETH / USDT	276'909.3	897.38	276'011.9

Tabelle 6: Top 25 der grössten einzelnen Liquidationen im Aave V3-Protokoll, sortiert nach Brutto-Gewinn. Angegeben sind der ausführende Liquidator, das betroffene Asset-Paar sowie Gas-Kosten, Brutto- und Netto-Gewinne in USD.

Top 25 Liquidatoren mit negativem Netto-Gewinn

Liquidator	Liquidationen	Brutto-Gewinn	Gas-Kosten	Netto-Gewinn
0x1f2F10...f387	764	906'369	961'902	-55'533
0x05c45C...ca52	201	19'557	24'321	-4'764
0xd4bC53...80E3	118	76'877	78'900	-2'023
0xfA0253...27995	2	799	2'267	-1'469
0x8e354f...9cBd	38	1'441	2'164	-723
0xC9b04b...0dE4	1	315	566	-251
0xf00E2d...b6Ef7	180	17	263	-246
0x66f13a...45184	8	93	300	-208
0x81c3B1...E4aEB	7	123	288	-165
0x93f8EB...84EA2	8	810	943	-133
0x594EfB...22a15	10	151	260	-109
0x6058dc...9ff4D	3	3	52	-50
0x0983b8...4D69d	10	18	62	-45
0x04C85b...82D5	1	14	54	-40
0xAc917B...2acF4	1	9	42	-33
0xdE2600...41845	3	126	155	-29
0x33Be3a...92EfB	1	24	50	-26
0xf4A106...00b2	1	0	18	-18
0x42a536...bbA1	7	8	25	-17
0x84d05D...4cc1	5	0	17	-17
0x62F267...e803	8	1	15	-14
0x7F3750...50BDD	1	15	26	-11
0x2837f4...F1bb7	3	0	10	-9
0x77dDd8...2D43	7	1	9	-8
0x97ebbC...96be	6	6	13	-8

Tabelle 7: Top 25 der Liquidatoren mit negativem Netto-Gewinn (Verlust) im Aave V3-Protokoll. Die Tabelle zeigt die Anzahl durchgeföhrter Liquidationen sowie die aggregierten Gas-Kosten, Brutto- und Netto-Gewinne in USD.

Robustheitsanalyse: ETH-Preisvolatilität

	Baseline	Volatilität (7 Tage)	Volatilität (14 Tage)
(Intercept)	1.279*** (0.049)	1.027*** (0.079)	0.970*** (0.093)
neg_ret	-31.462*** (2.221)	-29.497*** (2.398)	-30.206*** (2.312)
pos_ret	5.989*** (1.439)	3.487* (1.609)	4.550** (1.447)
vol_7d		9.740** (2.957)	
vol_14d			10.532*** (3.033)
Num. Obs.	770	769	769
R ² adj.	0.307	0.324	0.322

+ $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Tabelle 8: Schätzergebnisse zusätzlicher Robustheitsanalysen unter Einbezug kurzfristiger ETH-Preisvolatilität. Neben den aktuellen ETH-Renditen werden Volatilitätsmasse über 7- und 14-Tage-Fenster berücksichtigt. Die zentralen Koeffizienten bleiben in Vorzeichen und Signifikanz stabil. Robuste Standardfehler sind in Klammern angegeben.