Julius-Maximilians-
UNIVERSITÄT
WÜRZBURG

Descartes
research

Methoden und Messverfahren für das automatische Skalieren elastischer Cloud-Umgebungen

Präsentation zur Doktorarbeit

Dr. Nikolas Herbst

Betreuer

Prof. Dr. Samuel Kounev

Schloss Dagstuhl – 28. Mai, 2019

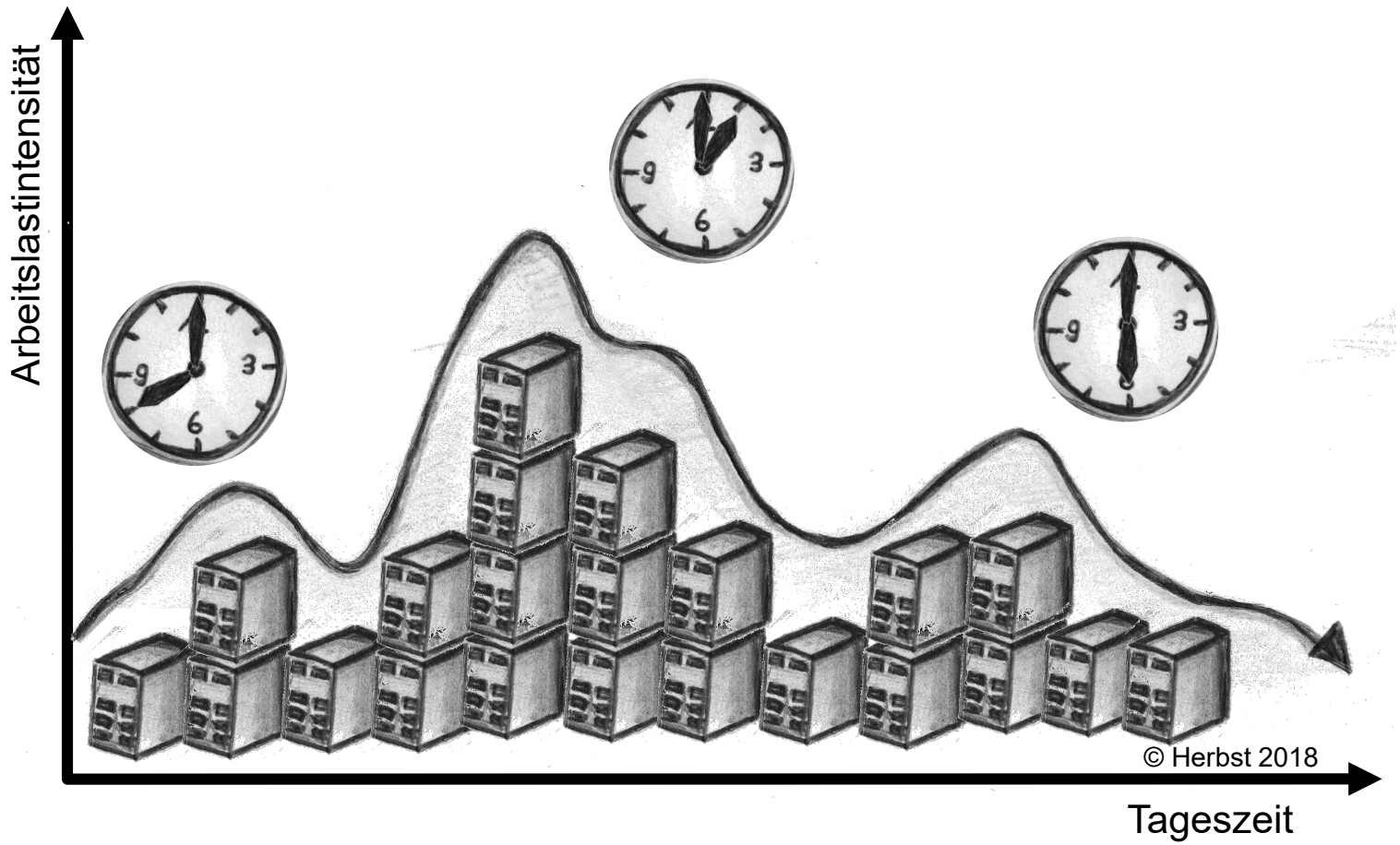
Automatisches Skalieren (AS) von Infrastruktur-Clouds

Automatisches Hinzufügen und Entfernen von virtuellen Rechenressourcen

z.B.: VMs, vCPUs

Anpassen an wechselnde Nachfrage über die Zeit

in der Größenordnung von Minuten, Stunden oder Tagen



Automatisches Skalieren (AS) von Infrastruktur-Clouds

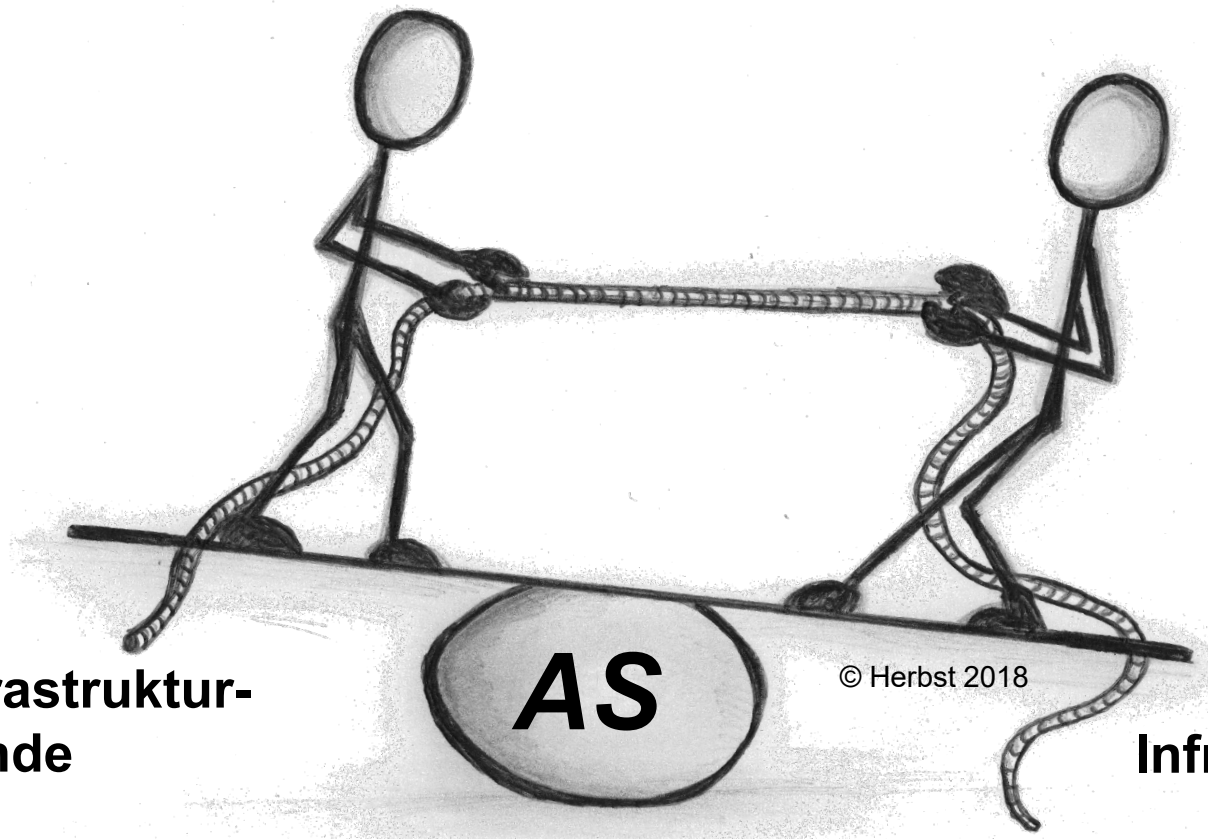
Automatisches Hinzufügen und Entfernen von virtuellen Rechenressourcen

z.B.: VMs, vCPUs

Anpassen an wechselnde Nachfrage über die Zeit

in der Größenordnung von Minuten, Stunden oder Tagen

AS als Mediator zwischen Infrastrukturbetreiber und den Kunden



Infrastruktur-kunde

- Stabile Leistung
- Exakt Bedarfs-gerechter Ressourcen-verbauch

Elastizität als Qualität eines AS

Infrastruktur-betreiber

- Effizienter Betrieb ≈ Verkauf virtueller Ressourcen bei geringerer Nutzung physikalischer
- Zusätzliche Verwaltungs-aufwände minimieren

Unsere Definition von Elastizität (im Cloud Computing)

"Elastizität im Cloud Computing ist der Grad zu dem ein System in der Lage ist, sich an **Änderungen in der Arbeitslast autonom anzupassen**, so dass sich **Allokation** und **Nachfrage** an Ressourcen zu **jedem Zeitpunkt** möglichst **optimal decken**."
(sinngemäß übersetzt)

N. Herbst, S. Kounev and R. Reussner
Elasticity in Cloud Computing: What it is, and What it is
in Proceedings of the 10th International Conference on Autor
Computing (ICAC 2013), San Jose, CA, June 24-28, 2013.

Problemstellung und Forschungsziele

Problem A

Kein Verfahren zur Elastizitätsbewertung
in realistischen Szenarien. Das führt zu

a) hohem, **manuellem Aufwand**, um einen AS optimal zu konfigurieren
b) und **eingeschränkter Vergleichbarkeit** sowie niedrigen **Wettbewerb** zwischen AS Ansätzen

Ziel A

Definition eines **Benchmarks für AS**, um so indirekt das Vertrauen in neuartige, proaktive Ansätze und einen breiteren Einsatz im Betrieb zu fördern.

Problem B

Hohes Risiko bei der Verwendung von AS
im Betrieb, da existierende Ansätze entweder

a) **rein reaktiv** arbeiten, ohne Möglichkeit die nächsten Schritte zu planen, oder
b) sich verlassen auf **einzelne, prädiktive Modelle** angewandt **in Isolation.**

Ziel B

Reduzierung des Risikos einen neuartigen AS im Betrieb zu nutzen durch den Einsatz **mehrerer proaktiver Mechanismen** in Kombination mit einem reaktivem Rückfall-Mechanismus.

Zusammenfassung der Beiträge

Ziel A

Definition eines **Benchmarks für AS**, um so indirekt das Vertrauen in neuartige, proaktive Ansätze und einen breiteren Einsatz im Betrieb zu fördern.

1 **LIMBO**: Werkzeuggestützte od. automatische **Modellierung** von **Lastintensitätsprofilen**

ACM TAAS, SEAMS15

2 **BUNGEE Messmethodik** und **Metriken** um **Elastizität** in **fairer und wiederholbarer** Weise zu bewerten.

2x ACM TOMPECS, ICAC13, SEAMS15, ICPE17

Ziel B

Reduzierung des Riskos einen neuartigen AS im Betrieb zu nutzen durch den Einsatz **mehrerer proaktiver Mechanismen** in Kombination mit einem reaktivem Rückfall-Mechanismus.

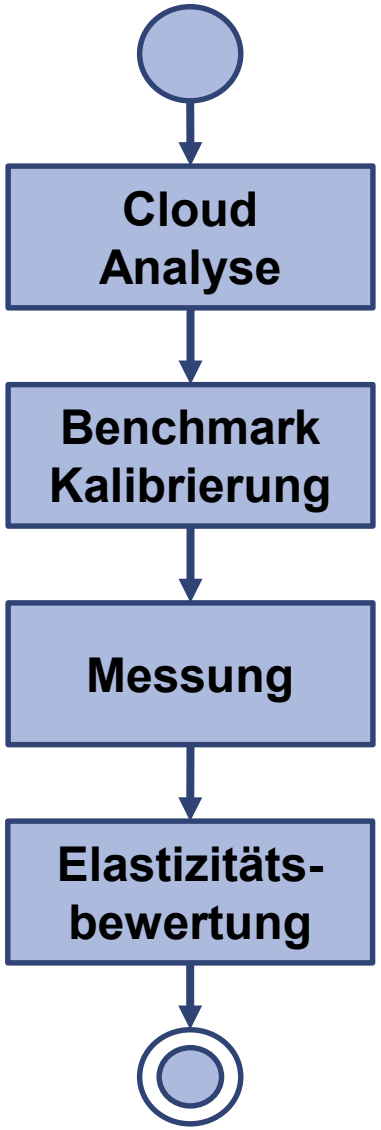
3 **Chameleon – hybrider Auto-Skalierer,** der geschickt proaktive und reaktive Methoden vereint

IEEE TPDS, IEEE Cloud15

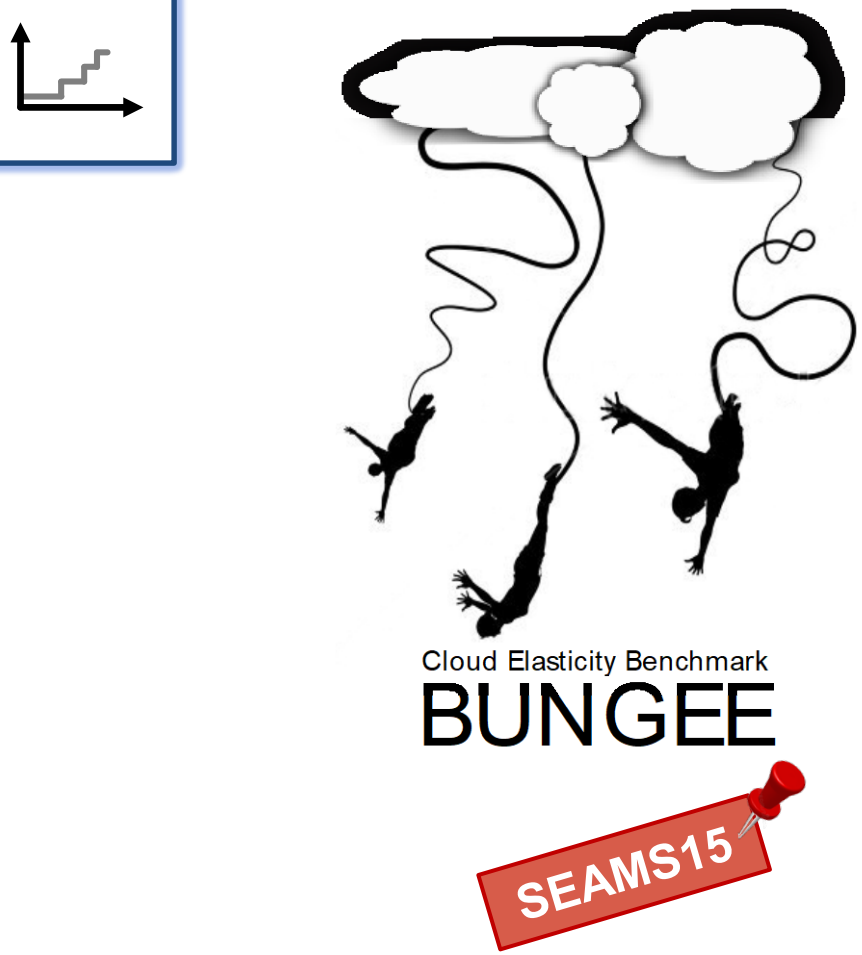
4 **Telescope** – Zerlegungsbasierte Vorhersage von Zeitreihen, um zuverlässiger genaue Vorhersagen pünktlich zur Verfügung zu stellen

ITISE17

BUNGEE Messverfahren für Elastizität



Performanzanalyse der zugrunde liegenden Rechenressourcen und deren Skalierbarkeit



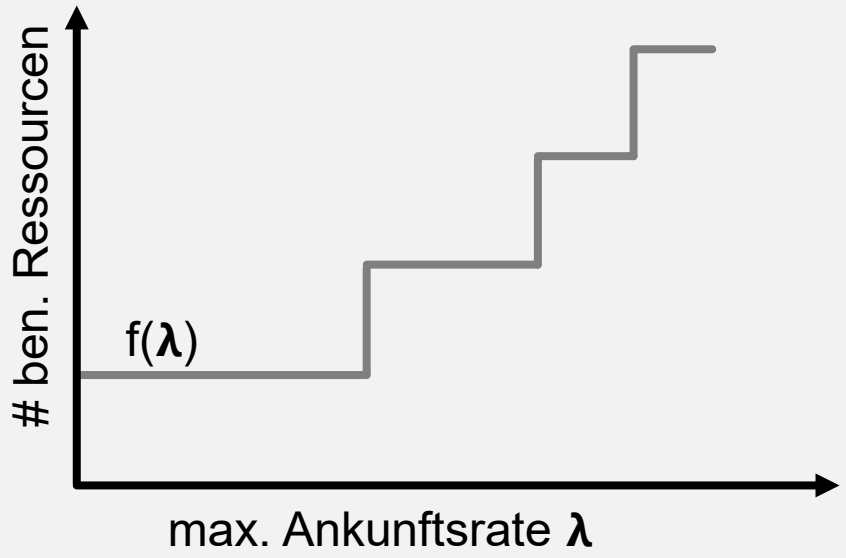
BUNGEE: Cloud-Analysephase

Grundidee:

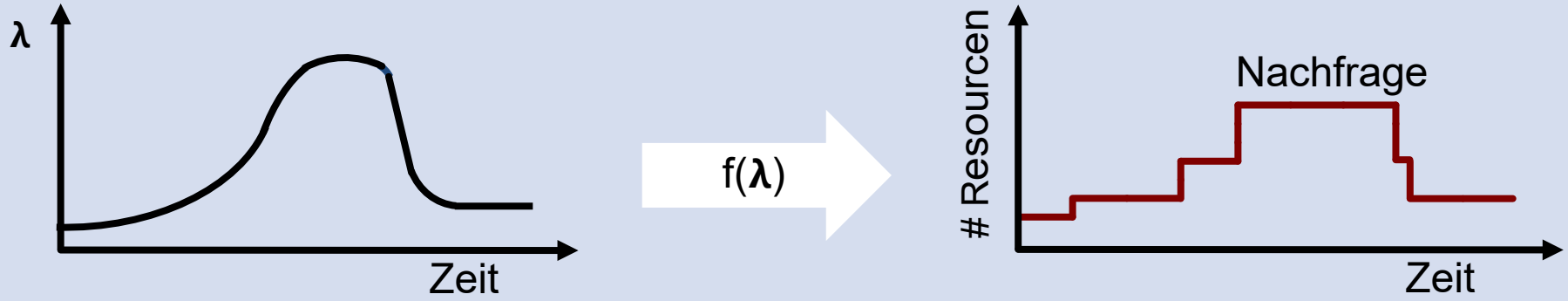
(1) Bewerte die Leistungsfähigkeit jeder Stufe

(2) Finde Kapazität = **max. Ankunftsrate λ**, der die Cloud Anwendung standhält **ohne Dienstgüteverletzungen**, dazu binäre Suche

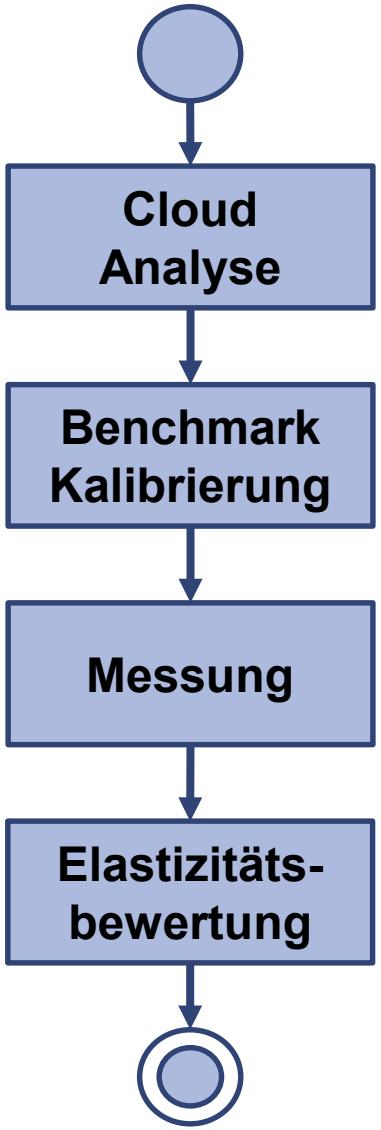
(3) Stufenfunktion für die Nachfrage: **f(λ) = # benötigter Ressourceneinheiten**



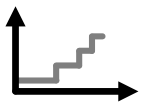
Ableiten der tatsächlichen Ressourcennachfrage für beliebige Lastintensitätsprofile als optimaler Auto-Skalierer (Goldstandard)



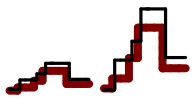
BUNGEE Messverfahren für Elastizität



Performanzanalyse der zugrunde liegenden Rechenressourcen und deren Skalierbarkeit

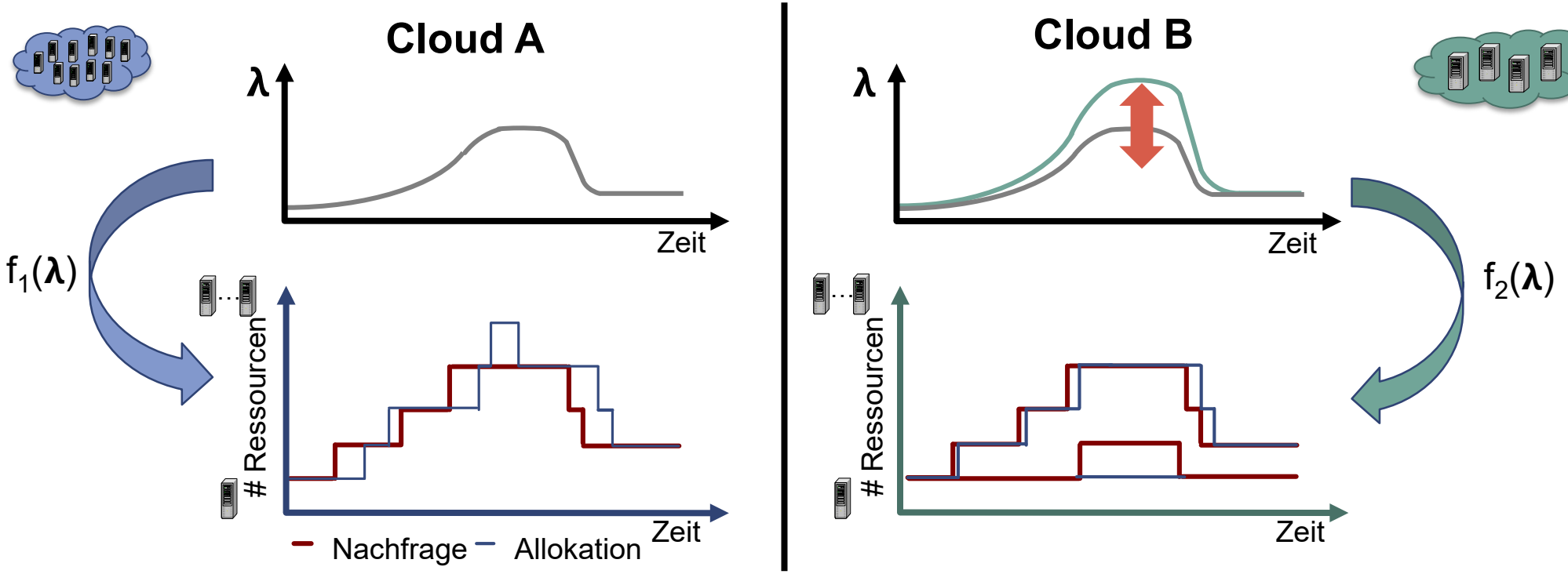


Anpassung des Lastprofils



BUNGEE: Benchmark-Kalibrierungsphase

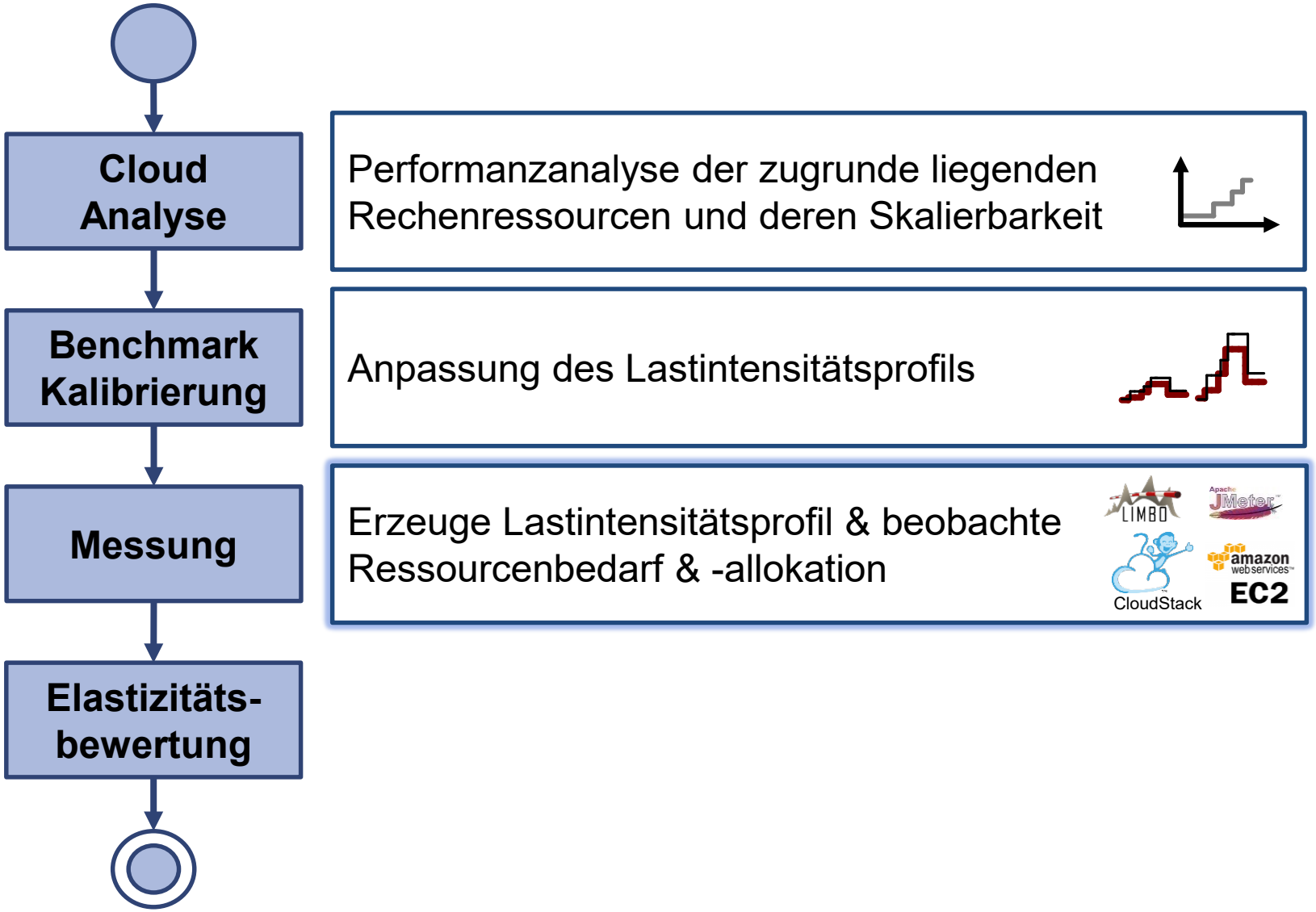
Beabsichtigt: Erzeuge dieselbe Nachfrage an Ressourcen in untersch. Clouds



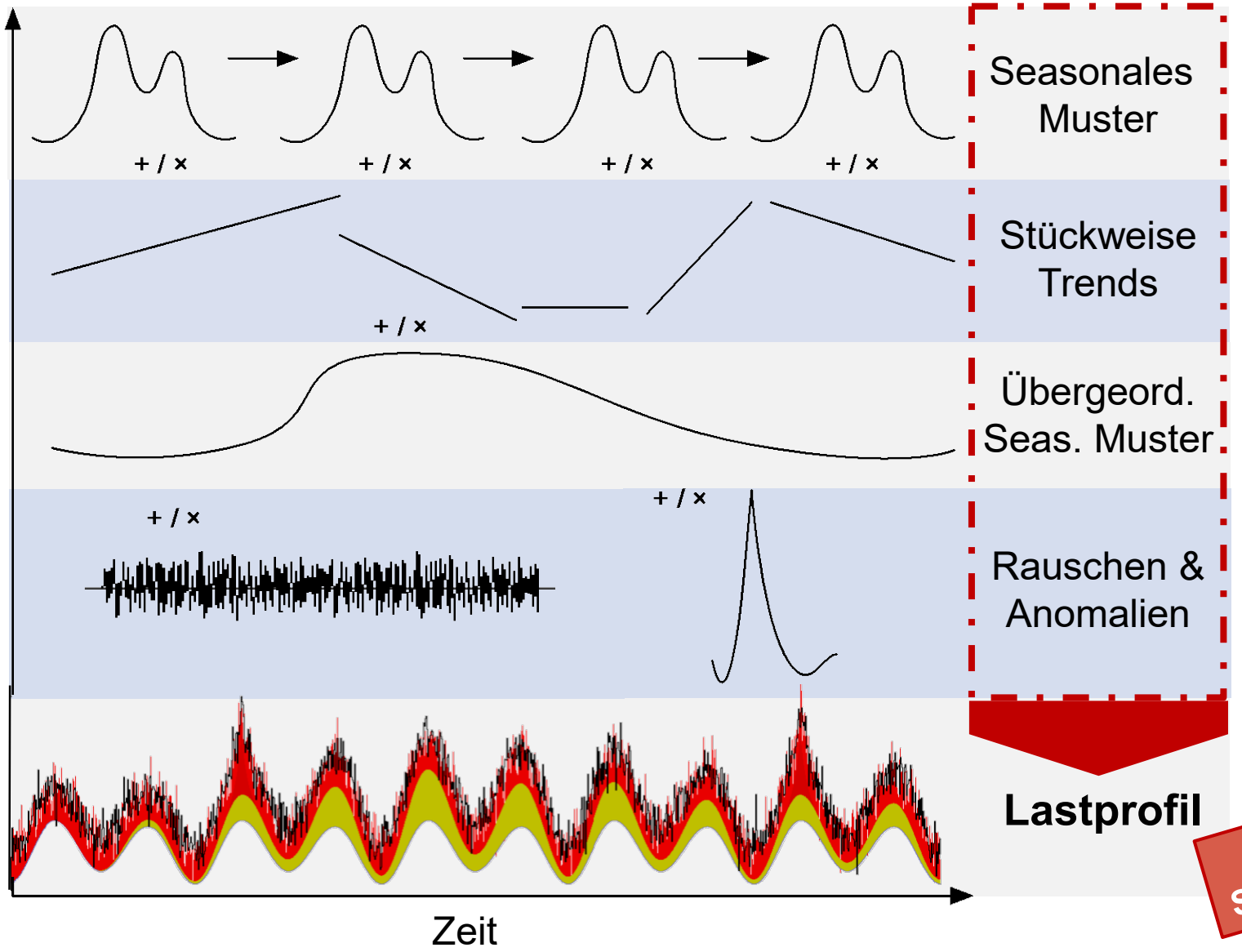
Lösungsweg: Anpassung des Lastintensitätsprofils unter Berücksichtigung

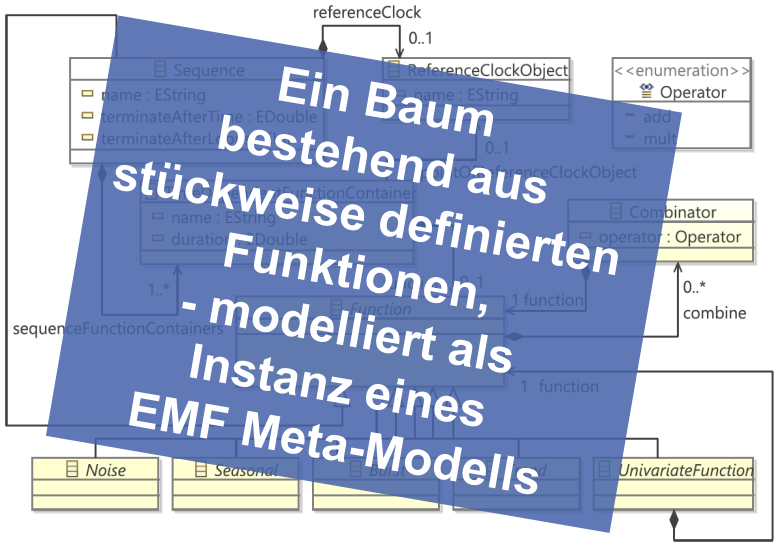
- der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit der Ressourcen und
- unterschiedlichem Skalierungsverlauf

BUNGEE Messverfahren für Elastizität



LIMBO Lastintensitätsprofile

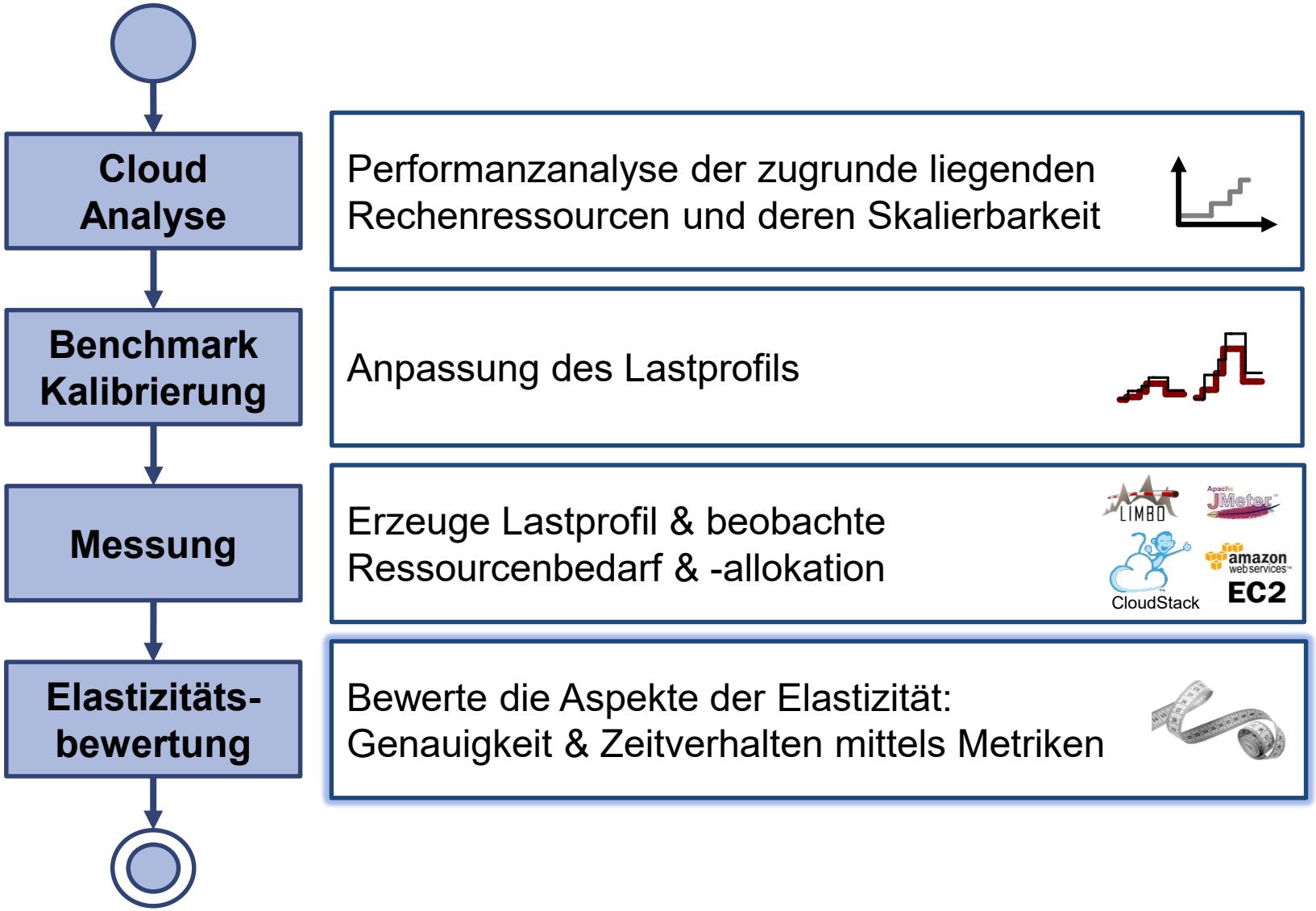


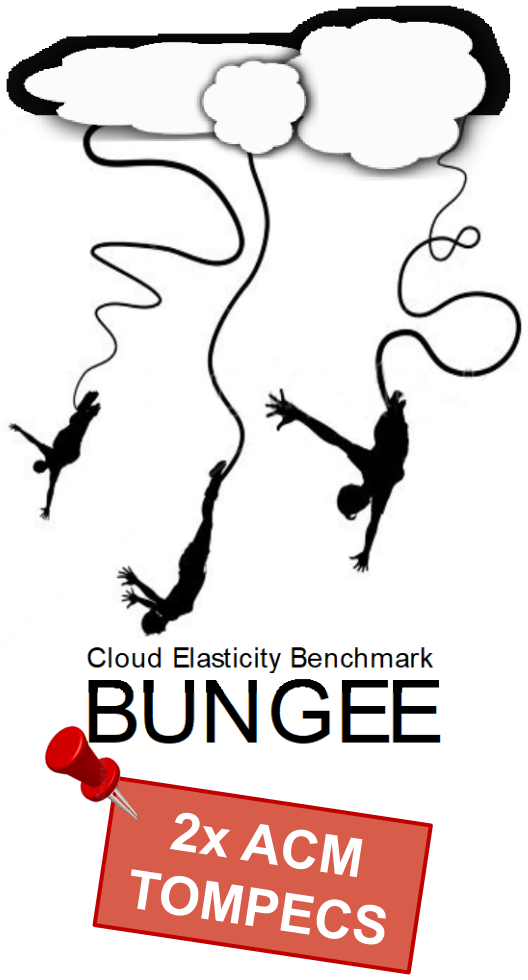


Ein Baum bestehend aus stückweise definierten Funktionen, - modelliert als Instanz eines EMF Meta-Modells

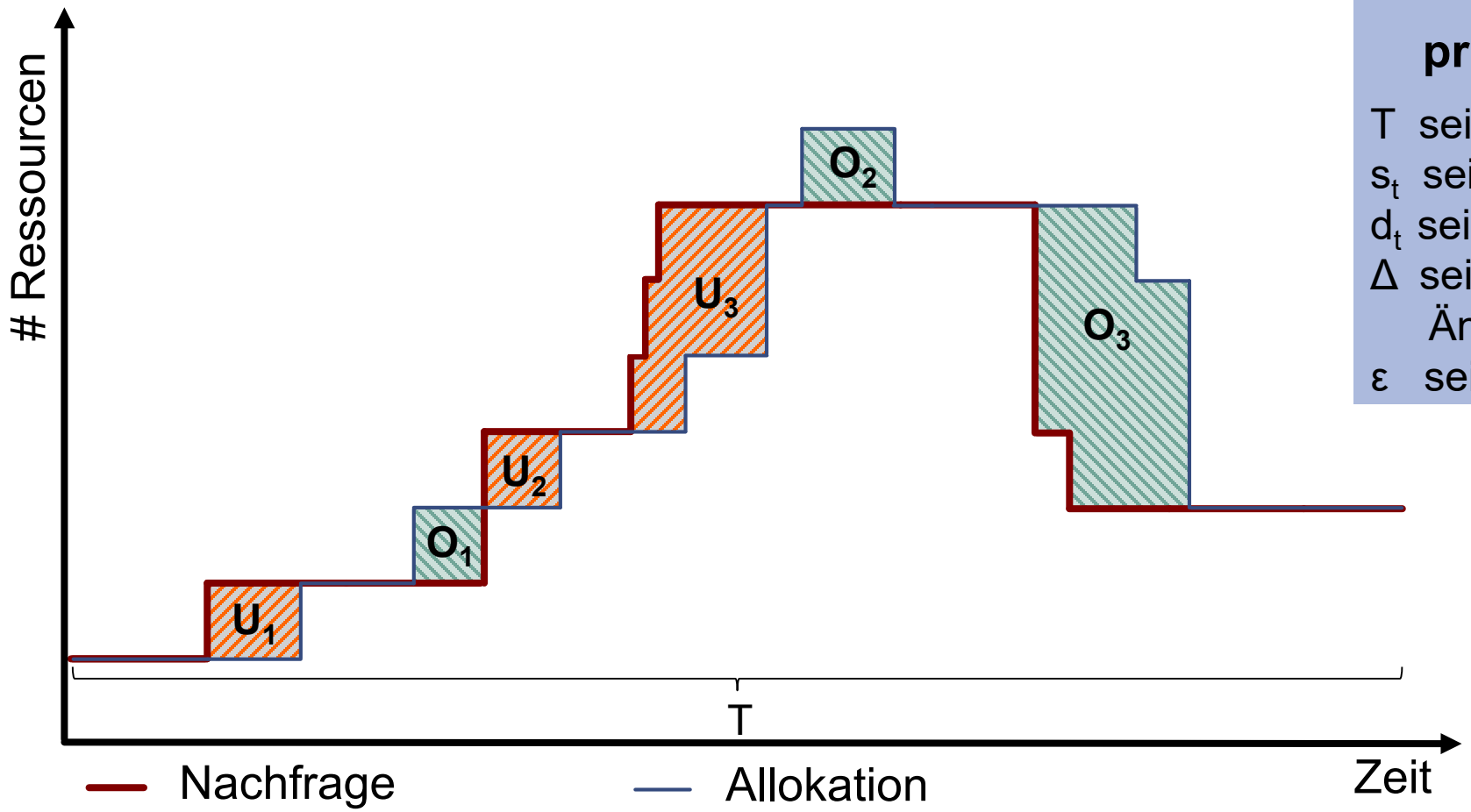
ACM TAAS 2017, SPEC RG peer-reviewed tool

BUNGEE Messverfahren für Elastizität





Elastizitätsmetriken: Genauigkeit $\theta_{U/O}$ und $a_{U/O}$



ø Anteil θ / Menge a an unter- bzw. über-provisionierten Ressourcen

T sei die Experimentdauer
s_t sei die Allokation zum Zeitpunkt t
d_t sei die Nachfrage zum Zeitpunkt t
Δ sei Zeit zw. letzter und aktueller Änderung
ε sei min. Nachfrage, z.B. ε = 1

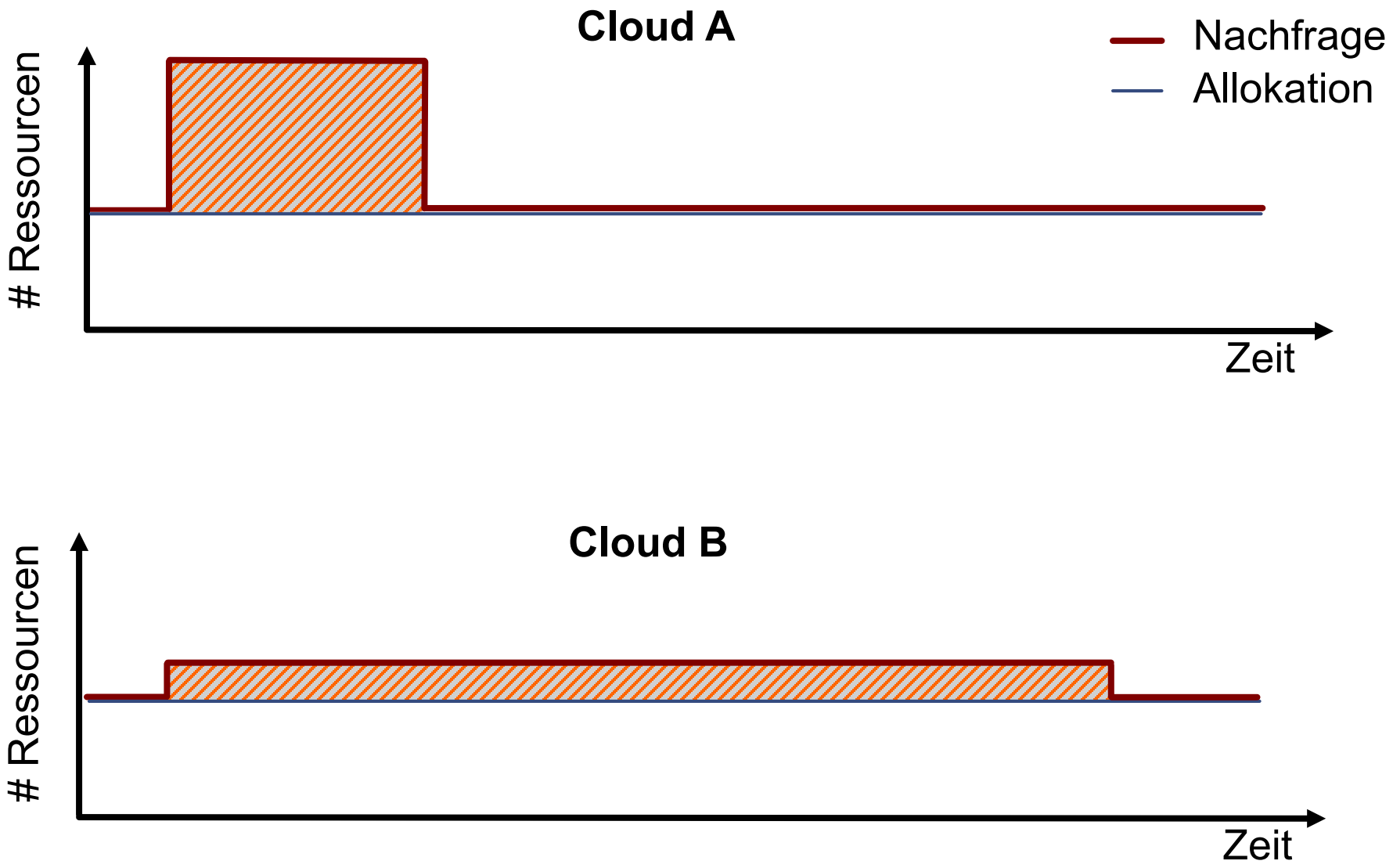
$$\theta_U[\%] := \frac{100}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} \frac{max(d_t - s_t, 0)}{\max(d_t, \varepsilon)} \Delta t$$

$$\theta_O[\%] := \frac{100}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} \frac{max(s_t - d_t, 0)}{\max(d_t, \varepsilon)} \Delta t$$

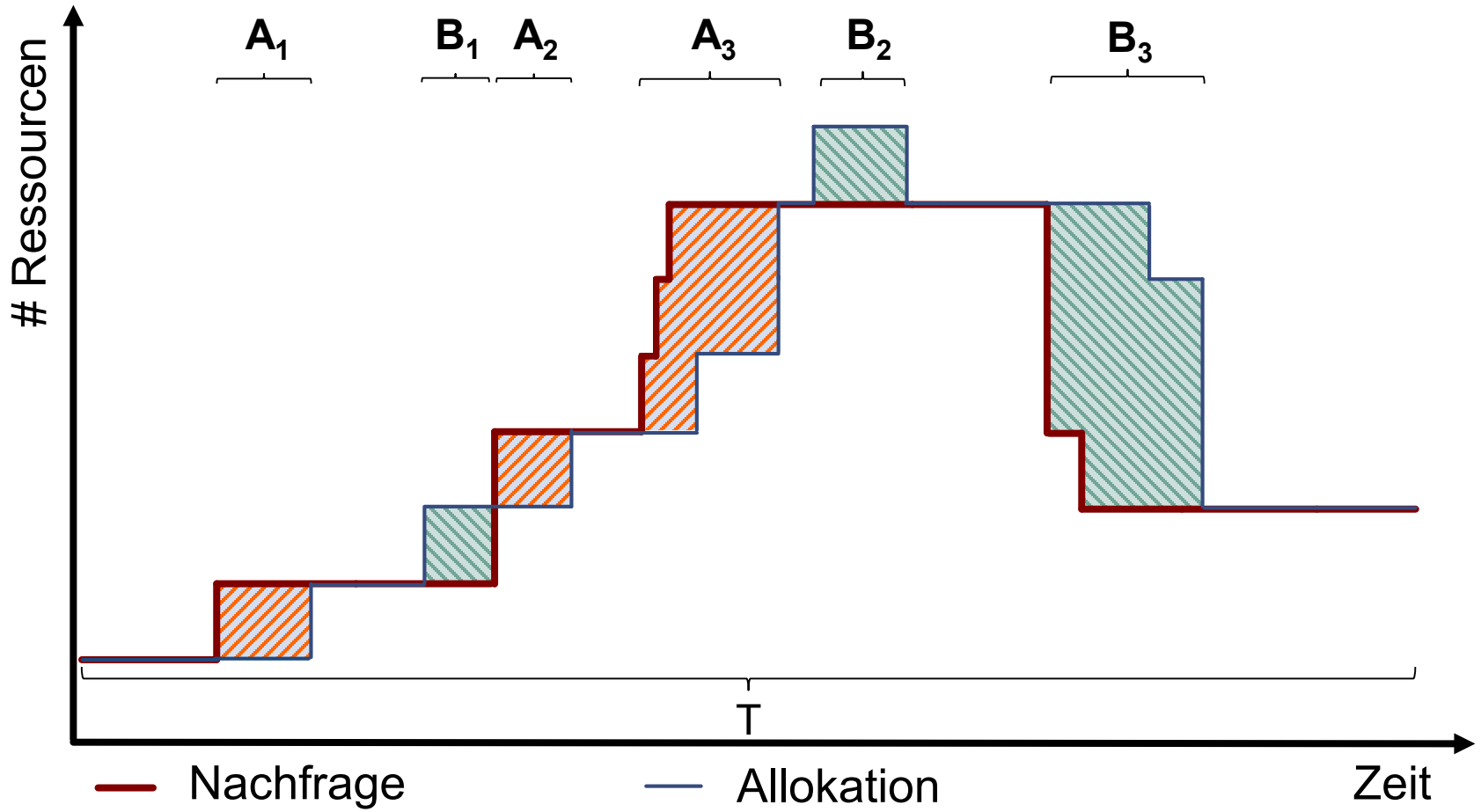
$$a_U[\#res] := \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} max(d_t - s_t, 0) \Delta t$$

$$a_O[\#res] := \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} max(s_t - d_t, 0) \Delta t$$

Elastizitätsmetriken: Ident. Wert – Untersch. Verhalten



Elastizitätsmetriken: Anteil inkor. Allokation $\tau_{U/O}$



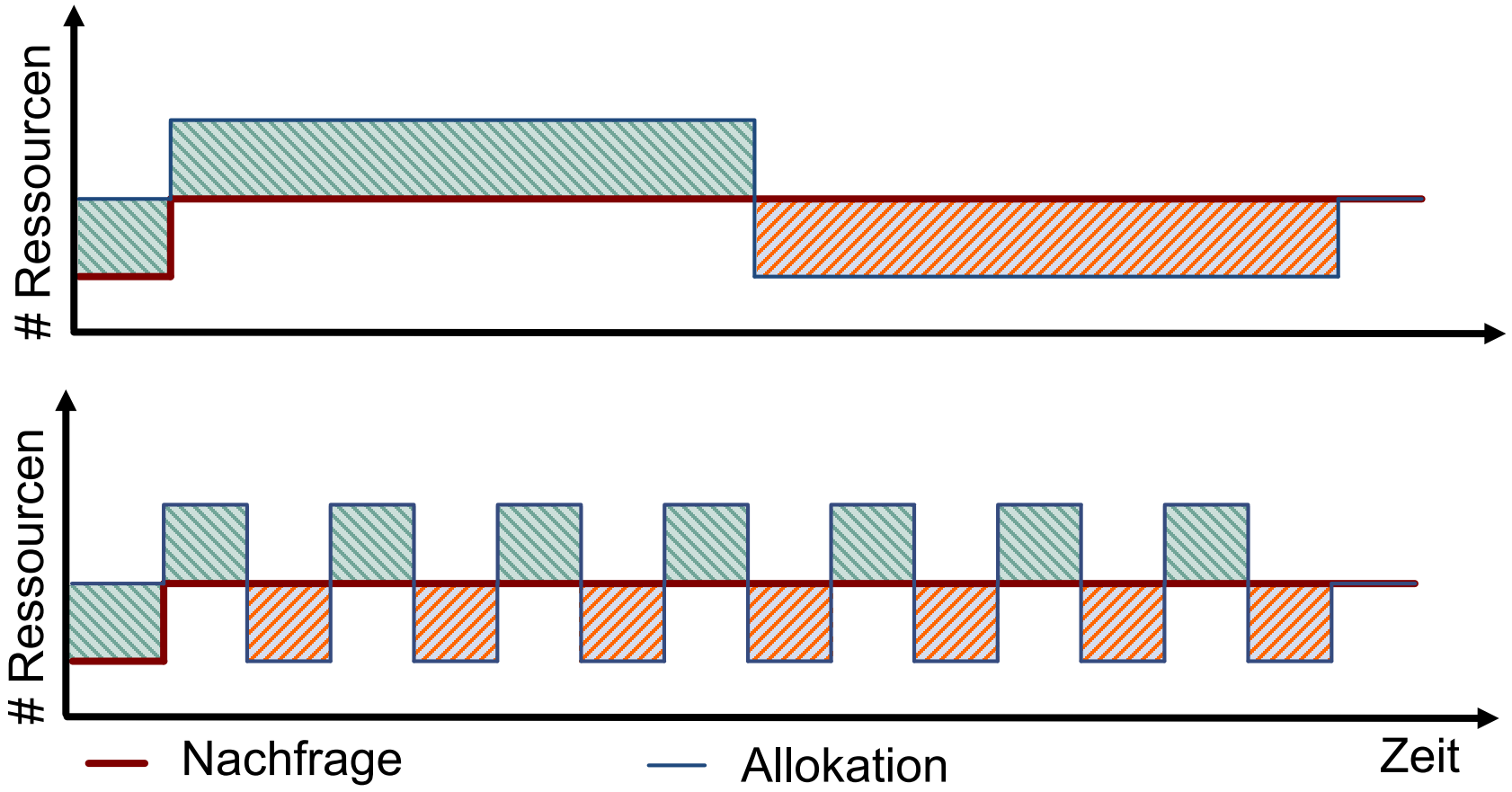
ø Zeit τ in unter- bzw. über-provisioniertem Zustand

T sei die Experimentdauer
s_t sei die Allokation zur Zeit t
d_t sei die Nachfrage zur Zeit t
Δ sei Zeit zw. letzter und aktueller Änderung

$$\tau_U[\%] := \frac{100}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} max(sgn(d_t - s_t), 0)\Delta t$$

$$\tau_O[\%] := \frac{100}{T} \cdot \sum_{t=1}^{T} max(sgn(s_t - d_t), 0)\Delta t$$

Elastizitätsmetriken: Instabilität u



Anteil der Zeit u in der Allokation und Nachfrage nicht parallel verlaufen

T sei die Experimentdauer
s_t sei die Allokation zur Zeit t
d_t sei die Nachfrage zur Zeit t
Δ sei Zeit zw. letztem und aktueller Änderung

$$)|,1)\Delta t$$

→ Intuitive Interpretation durch Wertebereich [0,1]

Entwurf der experimentellen Evaluation

(1) Verwendung von **LIMBO** Lastprofilmodellen

- Extrahiert von **5 verschiedenen realen Aufzeichnungen**
  FIFA WC98, BibSonomy, IBM CICS, German Wiki, Retrail
- **Generierung von 1-3 Tagen** jeweil perimentzeit pro Tag
- Eine Matrixzerlegung RT Suite

1

(2) Anwendung de riken

- Auf Installationen ir ds:
  privates Apache C e Forschungscloud)
- Mit einer **oberen Gr** **2-8GB** Arbeitsspeicher

2

(3) Wettbewerb des

gegen 4 proactive A

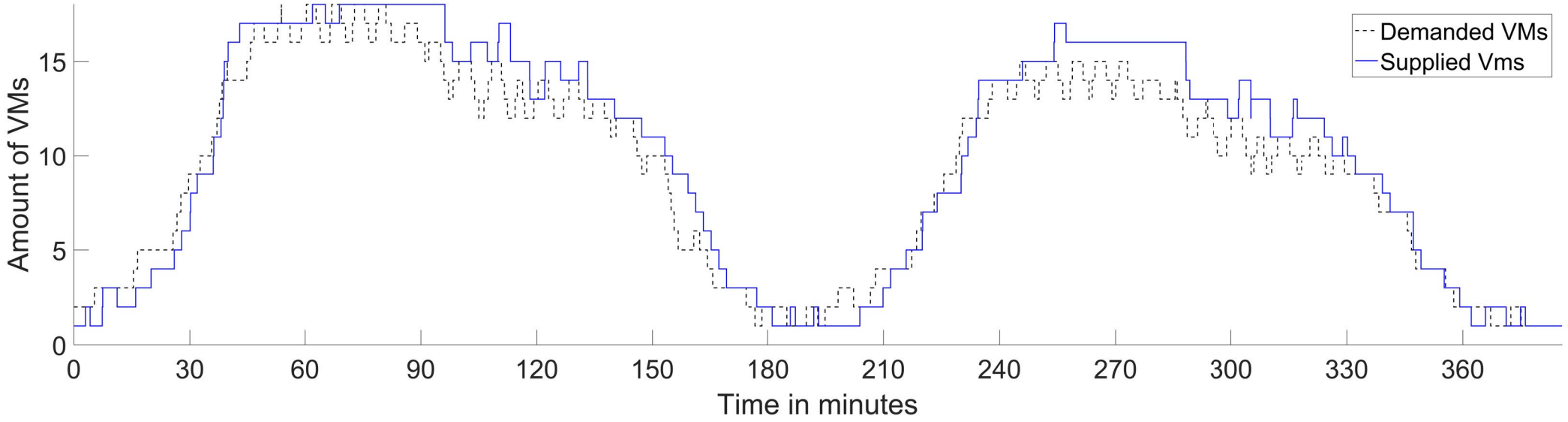
- **Adapt [Adhikari12] aus**
- **Hist [Urgaonkar08] aus** sche
- **Reg [Iqbal11] und ConP der Zeitreihenanalyse,** sowie

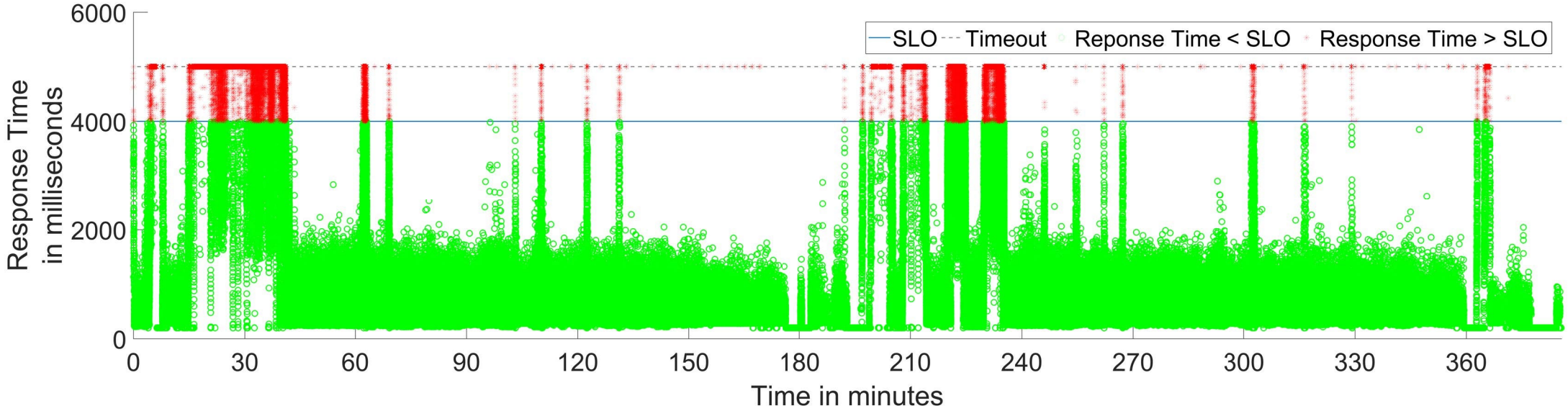
1 reaktiver Auto-Skalierer, sowie einem Szenario mit statischer Ressourcenallokation.

3

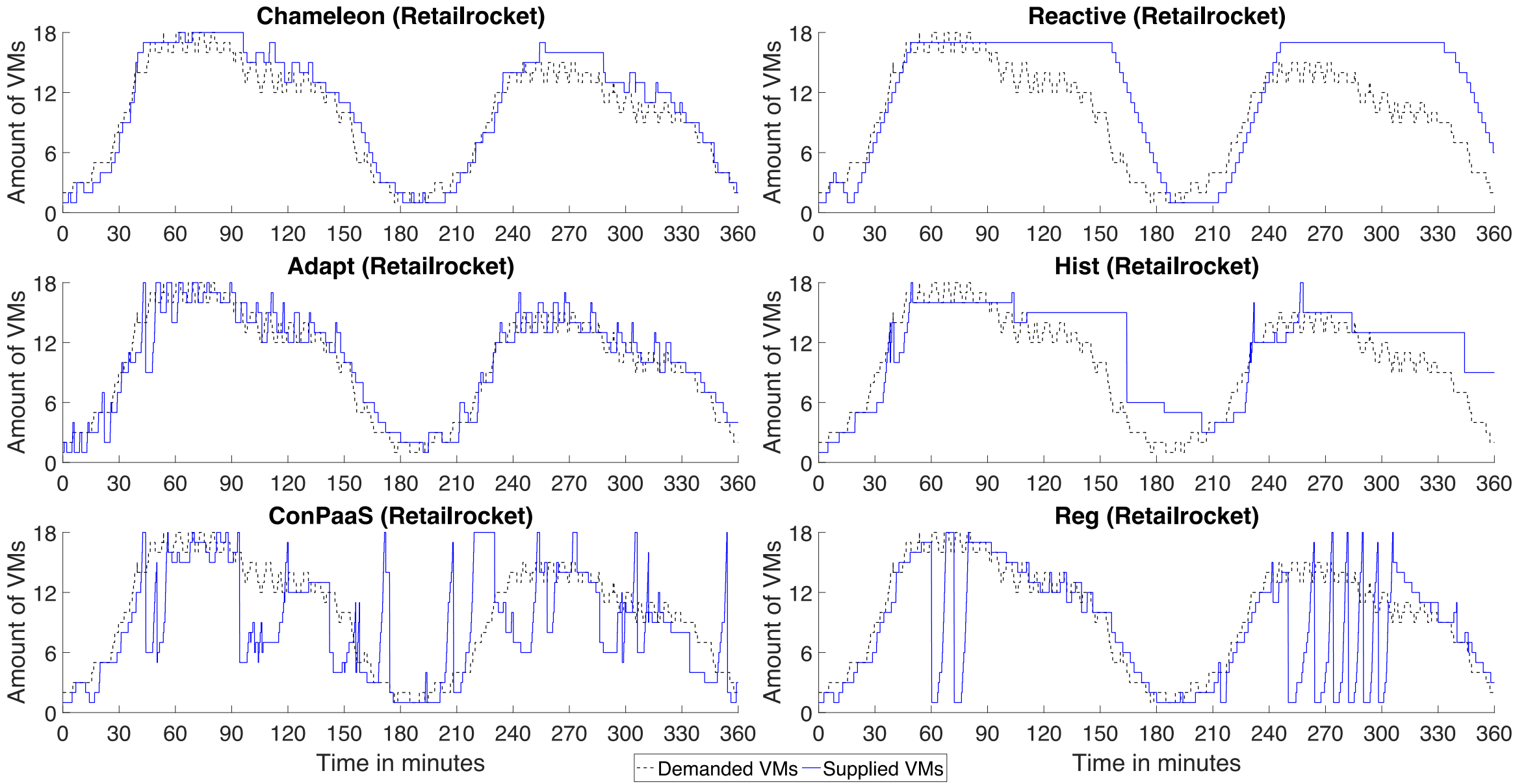
Evaluationsumfang
400 Stunden an Experimenten
107 Mio. generierte Anfragen
5000 Anpassungen
~700 € bei AWS
pro Experimentstunde:
~0.27 Mio. Anfragen, und
13 Anpassungen im Durchsch.

Experimentbeispiel: Chameleon im CS, Retailrocket

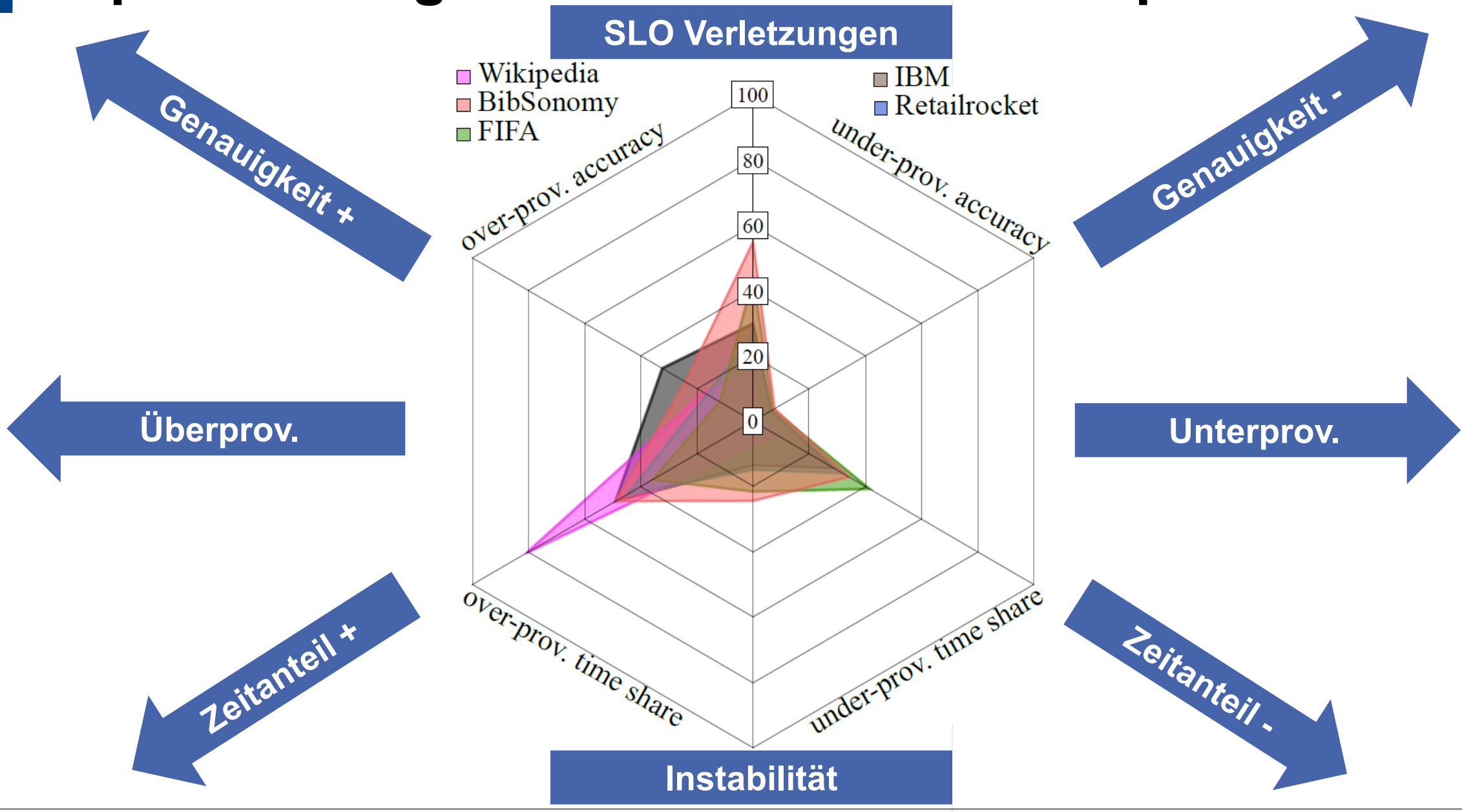




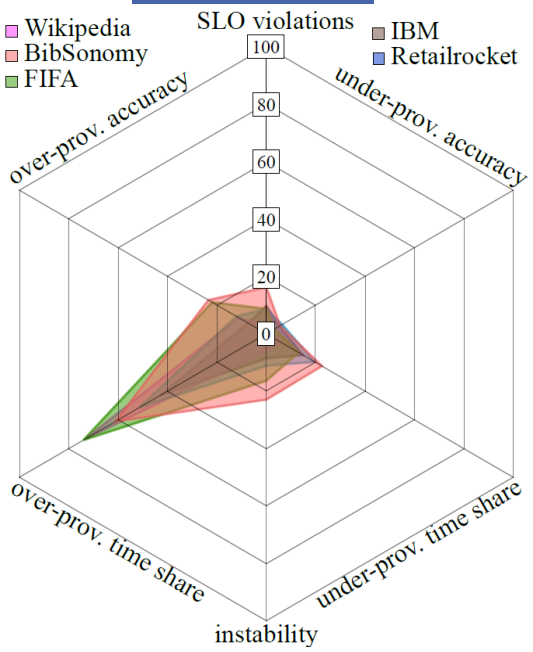
Experimentbeispiel: CS, Retailrocket



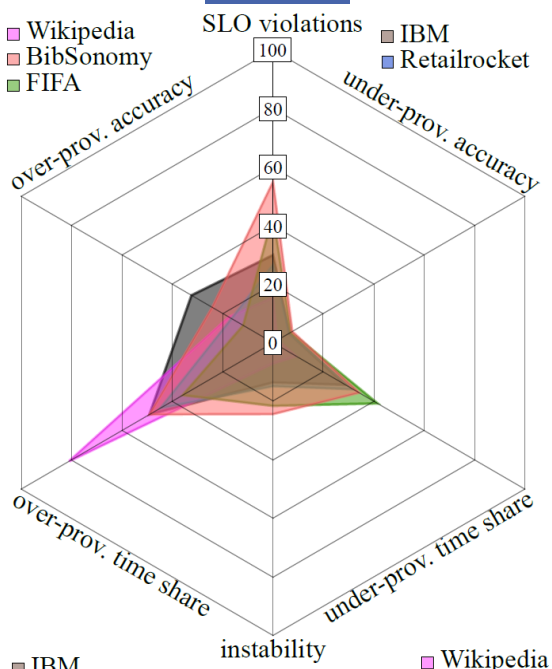
Experimentergebnisse visualisiert: Adapt AS



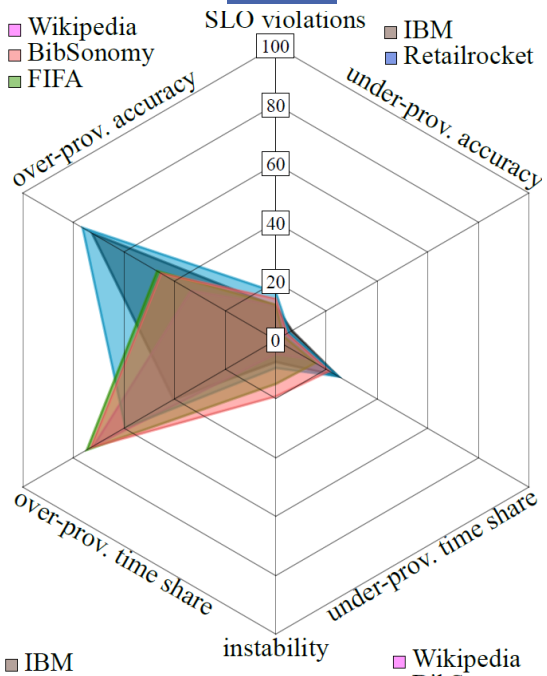
Chameleon



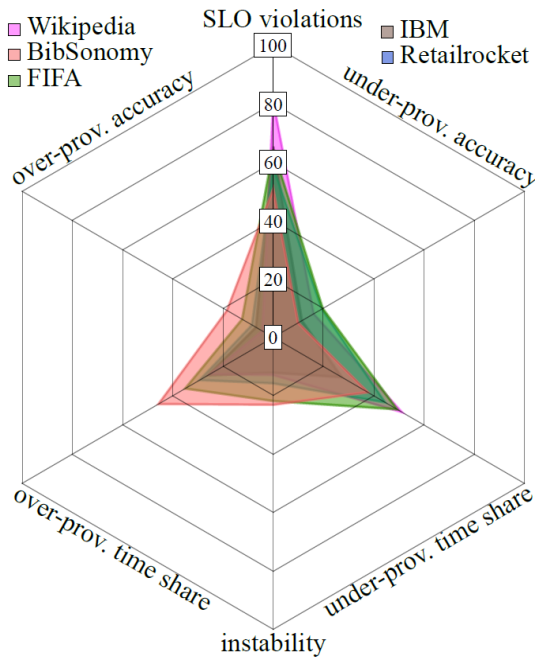
Adapt



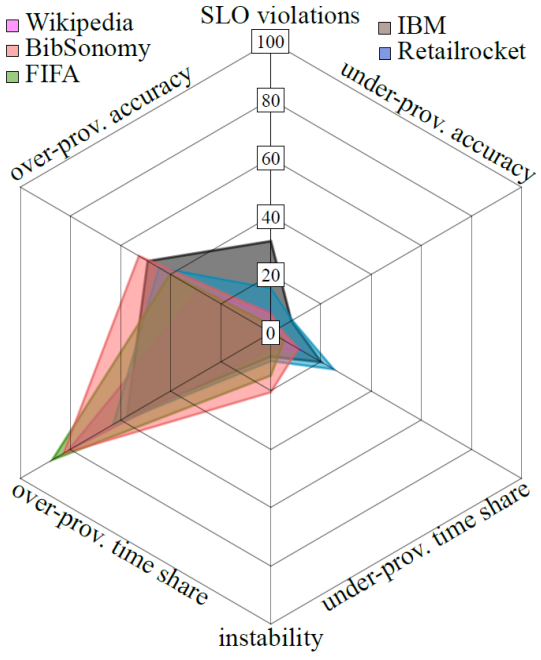
Hist



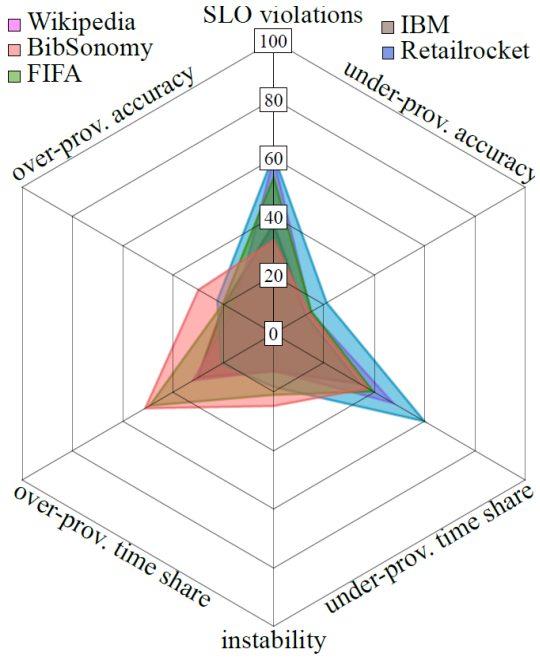
Reg



Reactive



ConPaas



Zusammenfassung und Ausblick

Erreichen von Ziel A

Definition eines **Benchmark für Auto-Skal.**

- **LIMBO Lastintensitätsprofile** (1)
- **BUNGEE Elastizitätsmess-methodik** und **Metriken** (2)

Erreichen von Ziel B

Risikoreduzierung beim Einsatz neuartiger Auto-Skalierer

- **Chameleon: Hybrider Auto-Skalierer** geht als **Sieger** eines breit angelegten **Wettbewerbs** hervor (3)
- **Telescope: Zerlegungsbasierte Vorhersagemethode** verbessert AS (4)

Gestartete und zukünftige Forschung

"Herausforderungen des Ressourcenmanagements durch neuste Cloud-Trends"

- Containerisierung, Micro-Dienste, Function-as-a-Service & Serverless, Fog/Edge
  - Ressourcenverschachtelung und Fragmentierung
  - Ressourcenprioritäten, -reservierungen und kostenbewusstes Management
  - Neuauflage des Platzierungsproblems
- Anwendungsänderungen durch DevOps
- Verbesserte Lastvorhersage
- Benchmarkmethodik und Metriken für mehr-dimensionale Elastizität / Ressourcen-management

Sichtbarkeit der Beiträge

- ✓ 5 Zeitschriftartikel — Wiley CCPE, 2 ACM TOMPECS, ACM TAAS, IEEE TPDS
- ✓ 3 Artikel in Revision — IEEE TSE, IEEE Internet Comp. IEEE Software
- ✓ 7 Konferenz-langbeiträge — ACM/SPEC ICPE13,17,18 2x SEAMS15, IEEE Cloud
- ✓ 4 Kurzbeiträge — ICAC13,17, Closer18, ITISE17
- ✓ 2 Buchkapitel — Springer SAC

und mehr…

4 neue, quelloffene Software-Werkzeuge @ https://descartes.tools

LIMBO

Chameleon

Cloud Elasticity Benchmark BUNGEE

Telescope

- IBM PhD Fellowship
- "SPECtacular award for tec. leadership"
- Unibund Förderpreis der Mainfränkischen Wirtschaft

9 Masterarbeiten betreut,
5 davon Promovenden,
4 davon Preisträger

SPEC RG Cloud co-chair

2x Workshop-organisator:

SeAC Self-Aware Computing @ FAS*

HotCloudPerf 2018
hotcloudperf.spec.org
Berlin, Germany, April 9
@ ACM/SPEC ICPE

Literaturverzeichnis

Adhikari12 R. Adhikari and R. Agrawal, “An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting,” arXiv preprint arXiv:1302.6613, 2013.

Iqbal11 W. Iqbal, M. N. Dailey, D. Carrera, and P. Janecek, “Adaptive Resource Provisioning for Read Intensive Multi-tier Applications in the Cloud,” Future Generation Computer Systems, vol. 27, no. 6, pp. 871-879, 2011.

Lorido-Botran14 T. Lorido-Botran, J. Miguel-Alonso, and J. A. Lozano, “A Review of Autoscaling Techniques for Elastic Applications in Cloud Environments,” Journal of Grid Computing, vol. 12, no. 4, pp. 559-592, 2014.

Maurer11 M. Maurer, I. Brandic, and R. Sakellariou, “Enacting Slas in Clouds Using Rules,“ in Euro-Par 2011 Parallel Processing. Springer, 2011, pp. 455-466.

Rao09 J. Rao, X. Bu, C.-Z. Xu, L. Wang, and G. Yin, “VCONF: a Reinforcement Learning Approach to Virtual Machines Auto-conguration,” in Proceedings of the 6th international conference on Autonomic computing. ACM, 2009,pp. 137-146.

Urgaonkar08 B. Urgaonkar, P. Shenoy, A. Chandra, P. Goyal, and T. Wood, “Agile Dynamic Provisioning of Multi-tier Internet Applications,“ ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS), vol. 3, no. 1, p. 1, 2008.

Gartner09 D.C. Plume, D. M. Smith, T.J. Bittman, D.W. Cearley, D.J. Cappuccio, D. Scott, R Kumar, and B. Robertson. Study: “Five Refining Attributes of Public and Private Cloud Computing", Tech. rep., Gartner, 2009.

Galante12 G. Galante and L. C. E. d. Bona, “A Survey on Cloud Computing Elasticity" in Proceedings of the 2012 IEEE/ACM Fifth International Conference on Utility and Cloud Computing, Washington, 2012

Jennings14 B. Jennings and R. Stadler, “Resource management in clouds: Survey and research challenges“, Journal of Network and Systems Management, pp. 1-53, 2014

Binning09 C. Binnig, D. Kossmann, T. Kraska, and S. Loesing, “How is the weather tomorrow?: towards a benchmark for the cloud" in Proceedings of the Second International Workshop on Testing Database Systems, 20091

Li10 A. Li, X. Yang, S. Kandula, and M. Zhang, “CloudCmp: Comparing Public Cloud Providers" in Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, 2010

Dory11 T. Dory, B. Mejías, P. V. Roy, and N.-L. Tran, “Measuring Elasticity for Cloud Databases" in Proceedings of the The Second International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, 2011

Almeida13 R.F. Almeida, F.R.C. Sousa, S. Lifschitz, and J.C. Machado: “On defining metrics for elasticity of cloud databases“, Simpósio Brasileiro de Banco de Dados - SBBD 2013, http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbbd/2013/0012.pdf

Weimann11 J. Weinman, “Time is Money: The Value of “On-Demand”,” 2011, http://www.joeweinman.com/resources/Joe_Weinman_Time_Is_Money.pdf,

Islam12 S. Islam, K. Lee, A. Fekete, and A. Liu, “How a consumer can measure elasticity for cloud platforms" in Proceedings of the 3rd ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering, New York, 2012

Folkerts12 E. Folkerts, A. Alexandrov, K. Sachs, A. Iosup, V. Markl, and C. Tosun, “Benchmarking in the Cloud: What It Should, Can, and Cannot Be“ in Selected Topics in Performance Evaluation and Benchmarking, Berlin Heidelberg, 2012

Moldovan13 D. Moldovan, G. Copil, H.-L. Truong, and S. Dustdar, “MELA: Monitoring and Analyzing Elasticity of Cloud Services,” in IEEE 5th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2013

Tinnefeld14 C. Tinnefeld, D. Taschik, and H. Plattner, “Quantifying the Elasticity of a Database Management System,” in DBKDA 2014, The Sixth International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications, 2014

Papadopoulos16 A. V. Papadopoulos, A. Ali-Eldin, K.-E. Årzén, J. Tordsson, and E. Elmroth. 2016. PEAS: A Performance Evaluation Framework for Auto-Scaling Strategies in Cloud Applications. ACM Trans. Model. Perform. Eval. Comput. Syst. 1, 4, Article 15 (August 2016), 31 pages. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2930659

Massov11 R. v. Massow, R., A. v. Hoorn, W. Hasselbring W. (2011) Performance Simulation of Runtime Reconfigurable Component-Based Software Architectures. In: Crnkovic I., Gruhn V., Book M. (eds) Software Architecture. ECSA 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6903. Springer, Berlin, Heidelberg

Huber17 N. Huber, F. Brosig, S. Spinner, S. Kounev, and M. Bähr. Model-Based Self-Aware Performance and Resource Management Using the Descartes Modeling Language. IEEE Transactions on Software Engineering (TSE), 43(5), 2017, IEEE Computer Society.