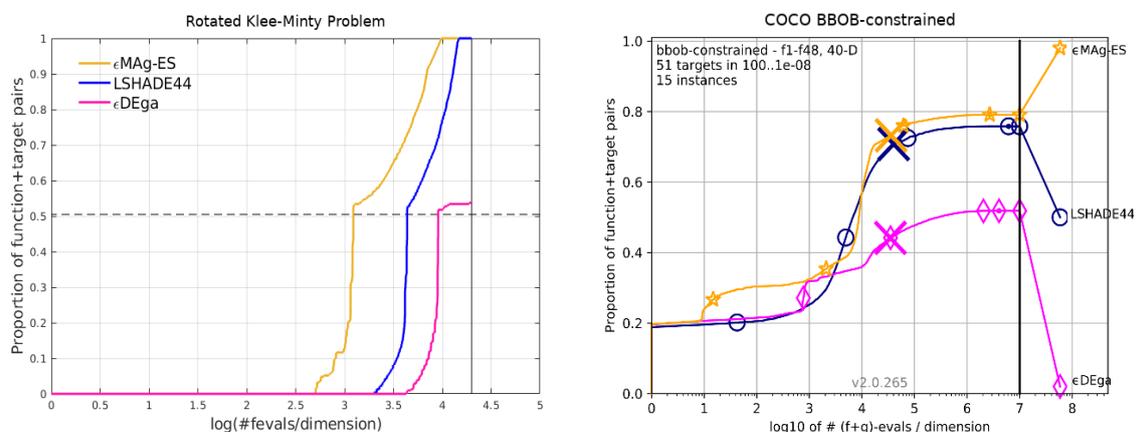


## **Titel: Evolutionsstrategien zur Optimierung unter Nebenbedingungen**

Im Folgenden wird das Forschungsvorhaben des FWF-Einzelprojektes „Evolutionsstrategien zur Optimierung unter Nebenbedingungen“ beschrieben. Dabei wird insbesondere der Frage nachgegangen, ob Evolutionsstrategien (ES) gegenüber anderen direkten Suchverfahren – insbesondere Differential Evolution (DE) Verfahren – Performancenachteile aufweisen. Während ES (vor allem sog. Kovarianz-Matrix-Adaptations-ES (CMA-ES) Varianten) derzeit die leistungsfähigsten heuristischen Suchverfahren für nicht-restringierte reell-parametrische Blackbox-Optimierung darstellen [1], ist die Entwicklung für restringierte Optimierungsprobleme weniger fortgeschritten. In diesem Feld gelten gemeinhin DE Varianten als die erfolgreichsten heuristischen Suchalgorithmen. Dieser Ruf ist unter anderem darauf begründet, dass DE Verfahren in den vergangenen Benchmark-Wettbewerben für Optimierungsprobleme unter Nebenbedingungen [2], welche im Kontext des IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) durchgeführt wurden, stets zu den Gewinner-Strategien zählten. Auf Basis dieses Erfolges wurden die Methoden zur Behandlung von Nebenbedingungen in DE Algorithmen in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelt. Demgegenüber befindet sich das Design von ES für Optimierung unter Nebenbedingungen noch in den Anfängen. Es ist das Ziel dieses FWF-Projektes, die Entwicklung von ES für restringierte Optimierung auf theoretisch basierter Grundlage voranzutreiben. Wir zeigen, dass ES bei Verwendung geeigneter Methoden zur Handhabung der Nebenbedingungen konkurrenzfähig zu gängigen Such-Heuristiken – und insbesondere zu DE Varianten – sind. Zu diesem Zweck kombiniert das FWF-Projekt die theoretische Analyse von ES an restringierten Problemstellungen mit der Untersuchung der gängigen Methoden zur Behandlung von Nebenbedingungen in direkten Suchalgorithmen. Die daraus gewonnen Erkenntnisse werden zur Entwicklung konkurrenzfähiger ES Verfahren genutzt. Eine Auswertung der Teilnehmeralgorithmen der vergangenen Benchmark-Wettbewerbe [2] offenbart, dass 19 von 26 bewerteten Algorithmen auf DE Verfahren basierten. Evolutionsstrategien befanden sich nicht unter den Teilnehmeralgorithmen. Die Analyse der erfolgreichsten DE Algorithmen und der Test ihrer Methoden im ES-Zusammenhang zeigt, dass die Kombination einer relaxierten Ordnungsrelation und einer unregelmäßig angewandten Reparaturmethode im Kontext der CEC Wettbewerbe Performancevorteile verspricht. Die Integration dieser beiden Methoden in eine algorithmisch vereinfachte Variante der CMA-ES resultiert in der sogenannten  $\epsilon$ MAG-Evolutionsstrategie [3]. Die  $\epsilon$ MAG-ES ist in der Lage 80% der CEC2017 Benchmark-Probleme mit hoher Präzision zu lösen. Im Kontext des aktuellsten Benchmark-Wettbewerbs während der IEEE CEC 2018 belegte die  $\epsilon$ MAG-ES als einzige Evolutionsstrategie im Wettbewerb den zweiten Rang und zeigt damit in derselben Testumgebung eine deutlich bessere Performance als die 2010er oder

die 2017er Gewinnerstrategien namens  $\epsilon$ DEga bzw. LSHADE44. Unter Beschränkung auf hohe Suchraumdimensionen belegte die  $\epsilon$ MAG-ES sogar den ersten Rang des 2018 Wettbewerbs. Über den CEC Wettbewerb hinaus werden auch andere Testumgebungen für die Optimierung unter Nebenbedingungen betrachtet: die derzeit noch im Entwicklungsstatus befindliche COCO BBOB-constrained Plattform, welche auf der modernsten Testumgebung für nicht-restringierte Blackbox-Probleme [4] basiert, und der selbst entwickelte Rotated Klee-Minty Benchmark [5]. Die Ergebnisse auf beiden Benchmarks (siehe Abbildung 1) bestätigen sowohl die Eignung als auch die Konkurrenzfähigkeit der  $\epsilon$ MAG-ES für diverse restringierte Optimierungsprobleme. Die Resultate zeigen einen signifikanten Performancevorteil der, im Vergleich zu den DE Varianten, algorithmisch deutlich simpleren  $\epsilon$ MAG-ES in hohen Suchraumdimensionen.



**Abbildung 1** Performance-Profile der  $\epsilon$ MAG-ES, LSHADE44 und  $\epsilon$ DEga auf den Rotated Klee-Minty Benchmark (links) und dem COCO BBOB-constrained Benchmark (rechts).

Der bisherige Projektverlauf deutet darauf hin, dass Evolutionsstrategien unter Verwendung geeigneter Methoden zur Behandlung der Nebenbedingungen ebenfalls hoch performante heuristische Suchverfahren für restringierte Optimierungsprobleme darstellen.

Danksagung: Dieser Beitrag wurde durch Mittel des Wissenschaftsfonds FWF gefördert (Projekt-Nr. P29651-N32).

Quellen:

- [1] GECCO Workshop on Real-Parameter Black-Box Optimization Benchmarking (BBOB 2018), Online: <http://numbbo.github.io/workshops/BBOB-2018/>
- [2] CEC Competitions on Constrained Real-Parameter Optimization in 2006, 2010, and 2017. Online: [https://www3.ntu.edu.sg/home/EPNSugan/index\\_files/cec-benchmarking.htm](https://www3.ntu.edu.sg/home/EPNSugan/index_files/cec-benchmarking.htm)
- [3] Hellwig M and Beyer H-G. 2018. A Matrix Adaptation Evolution Strategy for Constrained Real-Parameter Optimization. IEEE Congress on Evolutionary Computation.

[4] Hansen N, et al. 2016. COCO: A platform for comparing continuous optimizers in a black-box setting. <https://arxiv.org/abs/1603.08785>

[5] Hellwig M and Beyer H-G. 2018. A Linear Constrained Optimization Benchmark For Probabilistic Search Algorithms. In: TPNC 2018. LNCS, vol 11324. Springer.