**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

**Band:** 10 (1976)

**Artikel:** Über die Grundlagen und Methoden der Optimierung

**Autor:** Hartmann, Dietrich

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-10511

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 02.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Über die Grundlagen und Methoden der Optimierung

On the Fundamentals and Methods of Optimization

Sur les principes et les méthodes d'optimisation

DIETRICH HARTMANN
Dr.-Ing.
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen
Dortmund, BRD

## 1. Einleitung

Die analytischen Methoden des konstruktiven Ingenieurbaus sind in den letzten Jahren durch verstärkten Einsatz von Digitalrechnern mehr und mehr verfeinert worden. Das dabei erreichte hohe Niveau ist die Folge einer langen Tradition und einer daraus resultierenden Formalisierung der Berechnungsverfahren. Abgesehen von weiteren - sicherlich wichtigen - Verbesserungen (Berücksichtigung nichtlinearen Werkstoffverhaltens und großer Verformungen) sind jedoch keine grundlegend neuen Erkenntnisse mehr zu erwarten. Anders liegen die Verhältnisse bei der Tragwerkssynthese, bei der die Charakteristika des Bauwerkes als Unbekannte betrachtet und im Hinblick auf ein Bewertungskriterium unter Beachtung von technologisch - mechanischen Restriktionen festgelegt oder optimiert werden. Hier befindet man sich erst am Anfang einer Entwicklung, die sicherlich auch Rückwirkung auf die Tragwerksanalyse selbst haben wird.

Innerhalb der Synthese kommt den Optimierungsmethoden tragende Bedeutung zu, da erst mit ihrer Hilfe Syntheseprobleme zu lösen sind. Die Vielzahl der Optimierungen, die nur unzureichend die spezifischen Belange der Ingenieurpraxis berücksichtigen, gibt Veranlassung - in Ergänzung zum Aufsatz von TEMPLEMANN [E, S. 46 ff] einige kritische Anmerkungen zu machen.

## 2. Kritische Anmerkungen

Zwei Ursachen sind hauptsächlich dafür verantwortlich, daß die Optimierung zu zweifelhaften, da nur akademisch interessanten Lösungen führen kann:

- unrealistisch konzipierte Optimierungsmodelle,
- rein mathematisch orientierte Lösungsverfahren.

Im folgenden soll hierauf kurz eingegangen und einige Anregungen zur Überwindung einer Fehlentwicklung dargelegt werden.

### 2.1. Konzeption des Optimierungsmodells

Aus der Fülle akademischer Beispiele soll der beidseitig eingespannte Biegeträger minimalen Gewichtes als besonders typisches Beispiel dafür, daß die gefundene "Optimallösung" irrelevant ist, herausgegriffen werden (siehe Bild 1).

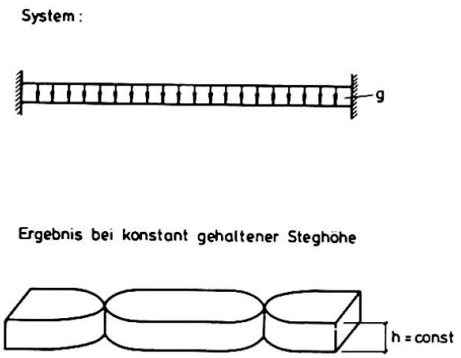


Bild 1: Optimierung des Gewichtes eines beidseitig eingespannten Trägers, ein "akademisches Beispiel" nach Hupfer (1)

Das gefundene Optimum ist die Folge eines schlecht konzipierten (ill - conditioned) Optimierungsmodells, das sich im Normalfall immer aus den drei Elementen

- Optimierungsvariablen
- Optimierungskriterium
- Optimierungsrestriktionen

zusammensetzt. Ist auch nur eine dieser Größen unzutreffend formuliert, zum Beispiel die Zielfunktion, verzerren sich die Optimierungsergebnisse. Viel weitreichendere Folgen stellen sich allerdings ein, wenn Restriktionen fehlen, fehlerbehaftet sind oder nicht in die Form gebracht werden können, wie es das später benutzte Lösungsverfahren verlangt, weil in diesem Fall der Lösungsraum ein völlig anderes Aussehen haben kann als in Wirklichkeit und somit andere Optima möglich sind. So hätte sich bei dem obengenannten Biegeträger mit Sicherheit eine andere Lösung ergeben, wenn technologische Restriktionen (Kontinuität der Kontur) berücksichtigt worden wären.

Will man praxisrelevante Optimierungsergebnisse sicherstellen, müssen alle drei Optimierungselemente ingenieurmäßig aufgebaut sein. Das ist aber im allgemeinen nur dann möglich, wenn man lediglich die Algorithmisierbarkeit der drei Elemente und nicht bestimmte mathematisch erzwungene Ausdrücke fordert.

## 2.2. Wahl des richtigen Lösungsverfahrens

Viele der vorgeschlagenen, heute gebräuchlichen Lösungsverfahren orientieren sich an der Denkart der Mathematiker, für jeweils eng abgegrenzte Problemklassen Lösungsmethoden zu erstellen, die nur unter bestimmten Voraussetzungen (hinsichtlich Konvexität, Stetigkeit, Differenzierbarkeit und bestimmter Formen der Nichtlinearität, etc.) anwendbar sind. Beispielsweise informiert das Bild 2 über die vielfältigen Varianten allein bei differenzierbarer Zielfunktion. Im Bereich der technischen Optimierung gibt es jedoch nur selten Fälle, die derartig mathematisch klassifizierbar sind. Infolgedessen braucht der Ingenieur eine Art "Generallöser", der universell anwendbar, flexibel und effizient ist. Die Effizienz - ein bislang nicht eindeutig definierter Begriff - soll dabei u.a. danach beurteilt werden,

- wie groß der Arbeitsaufwand zur Anpassung des Lösungsverfahrens an ein beliebig nichtlineares Optimierungsproblem ist,
- wie groß der Arbeitsaufwand zur Anpassung der Zielfunktion und Restriktionen an das Lösungsverfahren ist,
- wie groß der Rechenzeitbedarf (CPU-time) bei bestimmten Testfunktionen ist,
- wie groß der Kernspeicherbedarf ist,
- wie das Konvergenzverhalten bei pathologischen Fällen ist.

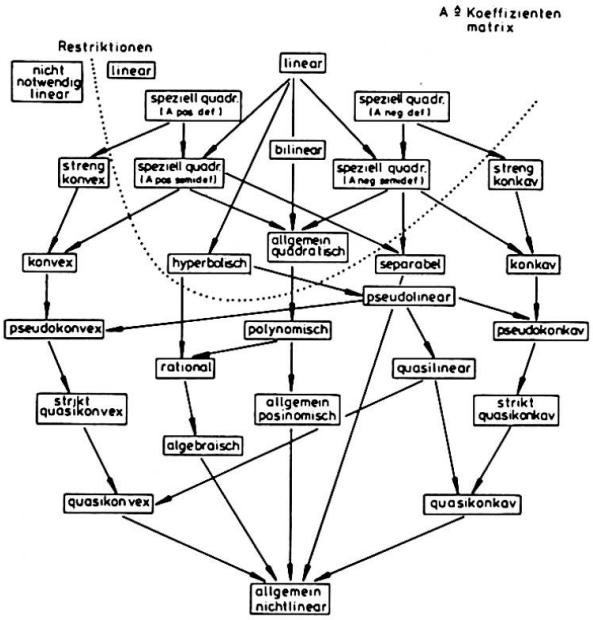


Bild 2:
Klassifikation nichtlinearer differenzierbarer Optimierungsaufgaben
nach Collatz . Wetterling (2)

Da insbesondere der Arbeitsaufwand zur Anpassung an Gegebenheiten erhebliche Kosten verursacht, muß der universellen Anwendbarkeit eines Lösungsverfahrens - unabhängig von der Klasse des Optimierungsproblems - größter Stellenwert eingeräumt werden. Die meisten der derzeitigen Lösungsverfahren genügen einer solchen Flexibilitätsforderung nicht. Die sogenannte Evolutionsstrategie dagegen [3], [4], die vom Verfasser mit Erfolg bei der Optimierung von Schalentragwerken eingesetzt wurde [4], [5], und im folgenden kurz vorgestellt werden soll, genügt dieser Forderung und kommt - bei entsprechender Weiterentwicklung - dem lang gesuchten "Generallöser" einen Schritt näher.

## 3. Evolutionsstrategie

Die Evolutionsstrategie ist ein sequentiell arbeitendes, iteratives stochastisches Suchverfahren mit Lernfähigkeit, bei dem die Suchschrittweite den Verhältnissen des jeweiligen Suchraumes angepaßt und selbst optimiert wird. Da die Suchschrittweite eine Zufallsvariable ist, kann man die Strategie als Monte-Carlo-Simulation höherer Stufe bezeichnen, deren Effizienz im Vergleich zu anderen Verfahren sich besonders bei vielen (ab 10 Variablen) bemerkbar macht. Sie darf aber auf keinen Fall mit der eigentlichen Monte-Carlo-Simulation verwechselt werden, weil ihr methodisches Vorgehen erheblich vom bekannten Monte-Carlo-Verfahren abweicht.

Das "Geheimnis" des Erfolgs und der Ausbaufähigkeit dieser Strategie ist darin begründet, daß die innere Logik des Verfahrens Optimierungsmechanismen der biologischen Vererbung, deren optimierender Effekt die Biologie tausendfach beweist, simuliert.

Durch eine einfache Konvergenzregel wird erreicht, daß optimale Fortschrittsgeschwindigkeit erzielt wird. Diese ist dann gegeben, wenn im Durchschnitt nach jeweils 5 zufälligen Suchvorgängen 1 Erfolg (Qualitätsverbesserung) erreicht wird. Andernfalls ist die Suchschrittweite (besser die Streuung der Suchschrittweite) zu vergrößern oder zu verkleinern. (Bild 3 zeigt die prinzipielle Arbeitsweise der Strategie an einem Beispiel).

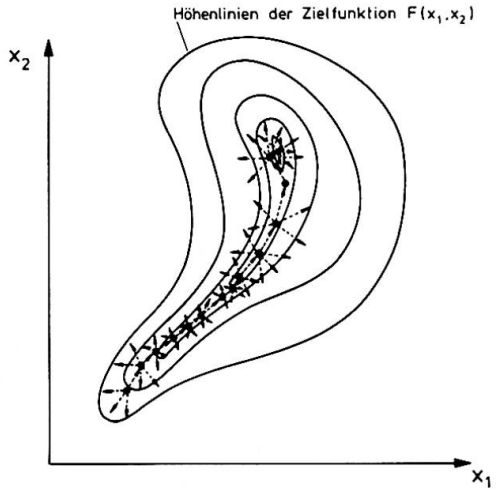


Bild 3:
Arbeitsweise der Evolutionsstrategie an einem zweidimensionalem Beispiel

## 4. Abschließende Bemerkung

Mit der Evolutionsstrategie besitzt der Ingenieur ein geeignetes Werkzeug, um Optimierungsprobleme im Konstruktiven Ingenieurbau zu lösen. Da die Routine in programmierter Form vorliegt und flexibel anwendbar ist, braucht sich der Benutzer nur noch um das problemabhängige Optimierungsmodell zu kümmern, eine Aufgabe, die jeder Ingenieur ohne große Mühe bewältigen kann.

## 5. Literaturangaben

[E] Einführungsbericht, 10. IVBH Kongreß in Tokio, 1975

[1] Hupfer, P.:
Optimierung von Baukonstruktionen VEB Verlag, Berlin 1970

[2] Collatz, L.; Wetterling, W.:
Optimierungsaufgaben, Springer Verlag, Berlin 1971

[3] Rechenberg, J.:
Evolutionsstrategie, Problemata Fomman - Holzboog Verlag, Stuttgart, 1973

[4] Hartmann, D.:
Optimierung balkenartiger Zylinderschalen aus Stahlbeton mit elastischem und plastischem Werkstoffverhalten, Dissertation, Dortmund 1974

[5] Hartmann, D.:
Optimierung flacher hyperbolischer Paraboloidschalen,
erscheint demnächst in Beton- und Stahlbetonbau

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden kritische Anmerkungen zum Aufbau eines auf die Praxis ausgerichteten Optimierungsmodells gemacht und die universell anwendbare Evolutionsstrategie wird als Lösungsverfahren technischer Optimierungsprobleme vorgestellt.

SUMMARY

Some critical remarks are made for the establishing of practical optimization models. Furthermore, a generally applicable solution method, the "evolution strategy" is proposed.

RESUME

Des considérations critiques sont faites pour l'établissement de modèles d'optimisation répondant aux besoins de la pratique. La méthode de la "stratégie évolutive" peut être utilisée de façon universelle pour résoudre des problèmes techniques.