

DIN ISO 18459

ICS 07.080

**Bionik –
Bionische Strukturoptimierung (ISO 18459:2015)**

Biomimetics –
Biomimetic structural optimization (ISO 18459:2015)

Biomimétisme –
Optimisation biomimétique (ISO 18459:2015)

Gesamtumfang 27 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen.....	9
5 Prinzipien der Selbstoptimierung in der Natur und daraus übertragene Optimierungsverfahren	9
6 Anwendung der Verfahren.....	12
6.1 Anwendungsbereich und Grenzen	12
6.2 Computer Aided Optimization (CAO)	12
6.2.1 Spannungsgesteuertes Wachstum.....	12
6.2.2 Schrumpfen	14
6.2.3 Finite Elemente in praktischen Anwendungen (FEM)	14
6.3 Soft Kill Option (SKO)	15
6.3.1 Prinzip der SKO-Methode	15
6.3.2 Umsetzung des SKO-Prinzips in der FEM.....	16
6.3.3 Anwendungsbeispiele der SKO-Methode	17
6.4 Computer Aided Internal Optimization (CAIO)	19
6.4.1 Beispiel zur CAIO-Methode: abgewinkelter Zylinder.....	20
6.5 Methode der Zugdreiecke.....	21
6.5.1 Allgemeines	21
6.5.2 Zugdreiecke zur Materialeinsparung.....	22
6.5.3 Zugdreiecke zur Faserrichtungsoptimierung.....	24
6.5.4 Beispiel für die Methode der Zugdreiecke: abgesetzte Welle.....	25
Literaturhinweise.....	27

Nationales Vorwort

Diese Internationale Norm (ISO 18459:2015) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 266 „Biomimetics“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-60 AA „Bionik“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Als Grundlage für ISO 18459 diente die nationale Richtlinie VDI 6224 Blatt 2. Die Erstellung der ISO 18459 erfolgte im Rahmen des Förderprojekts ISOBIONIK 01FS10008. In den Richtlinien VDI 6220 bis VDI 6226 zur Bionik werden derzeit relevante Themen zur Bionik behandelt. Die drei Richtlinien VDI 6220 Blatt 1, VDI 6223 Blatt 1 und VDI 6224 Blatt 2 haben besondere Relevanz für die Definitionen und Begriffsfestlegungen im Bereich Bionik sowie für industrielle Anwendungen und dienten daher im Rahmen des Förderprojekts ISOBIONIK 01FS10008 als Grundlage für die Erstellung der Internationalen Normen ISO 18457^{*)}, ISO 18458 und ISO 18459.

Für die im nachfolgenden Text zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden nationalen Normen hingewiesen.

ISO 18458 siehe DIN ISO 18458

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

^{*)} In Vorbereitung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 18458, *Bionik — Terminologie, Konzepte und Methodik*

VDI 6220 Blatt 1, *Bionik — Konzeption und Strategie — Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten*

VDI 6221 Blatt 1, *Bionik — Bionische Oberflächen*

VDI 6222 Blatt 1, *Bionik — Bionische Roboter*

VDI 6223 Blatt 1, *Bionik — Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile*

VDI 6224 Blatt 1, *Bionische Optimierung — Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung*

VDI 6224 Blatt 2, *Bionische Optimierung — Anwendung biologischer Wachstumsgesetze zur strukturmechanischen Optimierung technischer Bauteile*

VDI 6224 Blatt 3, *Bionik — Bionische Strukturoptimierung im Rahmen eines ganzheitlichen Produktentstehungsprozesses*

VDI 6225 Blatt 1, *Bionik — Bionische Informationsverarbeitung*

VDI 6226 Blatt 1, *Bionik — Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign — Grundlagen*

Bionik — Bionische Strukturoptimierung

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der WTO-Grundsätze zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: Foreword - Supplementary information.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 266, *Biomimetics*.

Einleitung

Bionische Optimierungsverfahren beruhen auf den Erkenntnissen aus dem Studium natürlicher biologischer Strukturen und Prozesse.

Die Strukturoptimierung ist ein spezialisierter Zweig der Optimierung, der sich mit der optimalen Auslegung von Bauteilen unter Berücksichtigung der momentanen Randbedingungen beschäftigt. Üblicherweise optimierte Eigenschaften sind Gewicht, Tragfähigkeit, Steifigkeit oder Lebensdauer. Ziel ist die Optimierung einer oder mehrerer dieser Eigenschaften durch Maximieren oder Minimieren ihrer Werte.

Grundsätzlich gilt es dabei, das Konstruktionsmaterial bestmöglich auszunutzen, also sowohl über- als auch unterbelastete Bereiche zu vermeiden. Da nahezu jedes technische Bauteil funktionell bedingte Querschnittsänderungen und somit Kerben aufweist, kommt der Kerbspannungsminimierung in der Strukturoptimierung besondere Bedeutung zu. Klassischerweise wird die Kerbformzahl, also der Spannungsüberhöhungsfaktor an der Kerbe, dadurch reduziert, dass der Krümmungsradius im Kerbgrund so groß wie möglich gewählt wird, oder dass die Wechselwirkung von Kerben genutzt wird und Entlastungskerbene gesetzt werden. Die Formen der Kerben werden bei diesem Vorgang nicht geändert. Die Verwendung anderer Kerbformen (Baud-Kurven, Ellipsen, logarithmische Spiralen usw.) wurde schon in den 1930er-Jahren vorgeschlagen. Sie finden jedoch keine breite Anwendung in der Technik und werden nur vereinzelt eingesetzt.

Die computerbasierten bionischen Optimierungswerkzeuge wie Computer Aided Optimization (CAO) und Soft Kill Option (SKO) modifizieren mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) die Form bzw. die Topologie des Bauteils und homogenisieren dadurch die Spannungen. Diese Werkzeuge sind seit 1990 verfügbar und werden in der Industrie eingesetzt. Die Notwendigkeit der FEM für die Optimierung schränkt aber auch hier den Anwenderkreis ein, da leistungsfähige Rechner, spezielle Software und ein Experte zur Bedienung erforderlich sind. Die Nachfrage nach noch einfacheren und schnelleren Verfahren, mit der nicht nur Spezialisten Bauteile optimieren können, sondern auch Konstrukteure, führte zur „Methode der Zugdreiecke“. Obwohl deren Entwicklung erst 2006 begann, wird auch sie, aufgrund ihrer Einfachheit und Nachvollziehbarkeit, bereits für verifizierte Anwendungsfälle genutzt. Die breite Einsatzmöglichkeit der bionischen Optimierungsverfahren, zusammen mit der für die Anwender relativ leichten Verständlichkeit und Anwendbarkeit der Verfahren, ermöglicht es den Anwendern die Bauteiloptimierung bereits früh im Konstruktionsprozess zu verankern. Im Fall der Zugdreiecks-Methode kann dies einfach durch Implementierung des Verfahrens in CAD-Systemen erfolgen.

Da jede Optimierung eine Spezialisierung auf die gewählten Lastfälle bedeutet, ist die Betriebsbelastung bekannt. Treten andere, nicht berücksichtigte Belastungen auf, können erhöhte Spannungen im Bauteil die Folge sein.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Funktionen und Anwendungsbereiche von bionischen Strukturoptimierungsmethoden fest. Sie berücksichtigt lineare Strukturprobleme unter statischen und Ermüdungsbelastungen. Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen Verfahren werden durch Beispiele illustriert.

Auf dem biologischen Modell von natürlichem Wachstum und FEM Optimierungsverfahren für technische Komponenten basierende rechnergestützte Optimierungsverfahren wie Computer Aided Optimization (CAO), Soft Kill Option (SKO) und Computer Aided Internal Optimization (CAIO) werden dargestellt. Der Zweck dieser Verfahren ist eine optimale Materialverwendung zur Gewichtsreduktion oder eine verbesserte Leistungsfähigkeit und Lebensspanne dieser Bauteile.

Zusätzlich wird eine einfachere und schnellere „Methode der Zugdreiecke“ beschrieben, die von jedem Konstrukteur genutzt werden kann. Die breite Einsatzmöglichkeit der bionischen Optimierungsverfahren, zusammen mit der für die Anwender relativ einfachen Anwendbarkeit der Verfahren, ermöglicht es den Anwendern, die Bauteiloptimierung bereits früh im Konstruktionsprozess durchzuführen.

Der Zweck dieser Internationalen Norm ist, den Anwender mit den bionischen Optimierungsverfahren als effektive Werkzeuge zur Erhöhung der Lebensdauer und Verringerung des Gewichts von Bauteilen vertraut zu machen und den breiten Einsatz dieser Verfahren zur Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung zu fördern.

Diese Norm richtet sich hauptsächlich an Konstrukteure, Entwickler, Ingenieure und Techniker, aber auch an alle Personen, die mit der Konstruktion und Bewertung von lasttragenden Strukturen betraut sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 18458, *Biomimetics — Terminology, concepts and methodology*

ISO 2394, *General principles on reliability for structures*

ISO 4866, *Mechanical vibration and shock — Vibration of fixed structures — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*

ISO 13823, *General principles on the design of structures for durability*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Lastadaptives Wachstum

angepasste Reaktion biologischer Strukturen wie Bäume oder Knochen auf sich ändernde Bedingungen (z. B. mechanische Belastungen) durch lokales Hinzufügen von Material in hoch belasteten Bereichen oder das Entfernen von Material aus wenig belasteten Bereichen

BEISPIEL: Dickere Jahresringe.

3.2

Algorithmus

exakt beschriebene Verfahrensvorschrift zur Lösung einer Aufgabe in endlich vielen Schritten

3.3

Bauraum

einem Bauteil zur Verfügung stehendes Volumen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Berandungen des zu entwerfenden Bauteils dürfen nicht über die Grenzen des Bauraumes hinausragen.

3.4

Computer Aided Internal Optimization

CAIO

auf der *Finite-Elemente-Methode* (3.6) basierendes Verfahren zur Optimierung von lokalen Faserausrichtungen in Faserverbundwerkstoffen mit dem Ziel, ihre Tragfähigkeit zu erhöhen

3.5

Computer Aided Optimization

CAO

auf der *Finite-Elemente-Methode* (3.6) basierendes Verfahren zur Optimierung der Form von Bauteilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spannungen in hochbelasteten Bereichen, wie *Kerben* (3.8), werden verringert und die Lebensdauer des Bauteils wird erhöht.

3.6

Finite-Elemente-Methode

FEM

numerisches Verfahren zur Gewinnung näherungsweiser Lösungen partieller Differentialgleichungen mit Randbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: In den Ingenieurwissenschaften wird dies als Verfahren zur Analyse von z.B. strukturmechanischen Fragestellungen genutzt. Bei FEM wird eine komplexe Struktur in kleine, einfache und miteinander verbundene Elemente aufgeteilt (FE-Netz). Mit vorgegebenen Randbedingungen (Lasten, Lagerungen usw.) und Materialeigenschaften ist es möglich, Spannungen, Deformationen usw. in beliebigen Bereichen der komplexen Struktur zu berechnen.

3.7

Gestaltoptimierung

Modifikation der Oberfläche eines Bauteils, um eine bestimmte Zielfunktion in einer gewünschten Weise zu verändern (z. B. um Spannungen zu minimieren)

3.8

Kerbe

konkav geformte Bereiche in Bauteilen, die das Bauteil durch die *Kerbwirkung* (3.9) lokal schwächen

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche Schwachstellen sind in den meisten Fällen nicht erwünscht, in bestimmten Fällen werden Kerben als Sollbruchstellen verwendet, um den Ort des Versagens vorzugeben und die Last, die auf das Bauteil ausgeübt werden kann, zu begrenzen.

3.9

Kerbwirkung

lokal auftretende Spannungsspitzen an *Kerben* (3.8) unter Last

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Höhe der Spannungsspitze hängt üblicherweise von der Größe und Form der *Kerbe* (3.8) ab. Die Spannungen sinken mit abnehmender Krümmung und zunehmender Größe der Kontur der *Kerbe* (3.8).

3.10**Methode der Zugdreiecke**

einfaches grafisches Verfahren zur Homogenisierung von Spannungen in Bauteilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Es kann zur Verringerung von Spannungen in hochbelasteten Bereichen, z. B. an *Kerben* (3.8), verwendet werden und auch, um unterbelastete Bereiche zu entfernen und Material einzusparen.

3.11**Soft Kill Option****SKO**

auf der *Finite-Elemente-Methode* (3.6) basierendes Verfahren zur Optimierung der *Topologie* (3.12) von Bauteilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Leichtbau-Entwurfsvorschläge werden durch das sukzessive Entfernen von schwach belastetem Material aus dem *Bauraum* (3.3) erzeugt.

3.12**Topologie**

Beziehung (z. B. Position und Orientierung) zwischen den Strukturelementen (Löcher, Stützen usw.) eines Bauteils

4 Symbole und Abkürzungen

E	Elastizitätsmodul
E	Variation des Elastizitätsmoduls, $E = f(\sigma)$
F	Kraft
M	Drehmoment
$T(x,y,z)$	thermische Belastung
α	thermischer Ausdehnungskoeffizient
σ_{mises}	Vergleichsspannung nach von Mises

5 Prinzipien der Selbstoptimierung in der Natur und daraus übertragene Optimierungsverfahren

Durch zahlreiche Untersuchungen an biologischen lasttragenden Strukturen wie Bäumen, Knochen, Krallen und Dornen konnte mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) nachgewiesen werden, dass diese lasttragenden Strukturen optimal an die Belastungen, denen sie ausgesetzt sind, angepasst sind und dass für alle Strukturen die gleichen Gestaltungsprinzipien gelten. Als fundamentales Prinzip hat sich das Axiom konstanter Spannung herausgestellt, das beim Aufbau tragender biologischer Strukturen wie Bäumen oder Säugetierknochen wirksam ist. Dieses Axiom besagt, dass an der Oberfläche einer lasttragenden Struktur keine Schwachstellen (Bereiche mit hoher Spannung) oder unterbelasteten Bereiche (unnötiger Ballast oder verschwendetes Material) vorkommen, so dass eine gleichförmige Spannungsverteilung an der Oberfläche vorliegt. Dieser mechanisch vorteilhafte Spannungszustand wird durch adaptives Wachstum erreicht. Zum Beispiel registrieren Bäume lokale Spannungskonzentrationen mittels interner Rezeptoren und reparieren sich selbst durch adaptives Wachstum. In überbelasteten Bereichen wachsen lokal dickere Jahresringe und verringern so Spannungsspitzen. Bäume können jedoch, im Gegensatz zu den Knochen von Menschen und Tieren, kein überflüssiges Material aus spannungsentlasteten Bereichen entfernen.

Die Selbstoptimierung biologischer Strukturen ist nicht nur auf ihre äußere Gestalt begrenzt, auch ihre inneren Strukturen sind hervorragend an die Belastungen angepasst, denen sie ausgesetzt sind. Die adaptiven Mineralisierungsvorgänge machen die Knochenbereiche steifer, die hohen Spannungen ausgesetzt sind, während weniger belastete Bereiche erweicht und schließlich entfernt werden.