

Thomas Reiher

# Intelligente Optimierung von Produktgeometrien für die additive Fertigung

Forschungsberichte des  
Direct Manufacturing Research Centers

12

# **Intelligente Optimierung von Produktgeometrien für die additive Fertigung**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)  
der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Paderborn

genehmigte  
DISSERTATION

von  
Thomas Reiher, M.Sc.  
aus Essen

Tag des Kolloquiums: 26.10.2018

Referent: Prof. Dr.-Ing. Rainer Koch  
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Gunther Kullmer



Forschungsberichte des Direct Manufacturing Research Centers  
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Rainer Koch

Band 12

**Thomas Reiher**

**Intelligente Optimierung von Produktgeometrien  
für die additive Fertigung**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Düren 2019

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6728-6

ISSN 2364-3072

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Zusammenfassung**

Die additive Fertigung als werkzeugloses Fertigungsverfahren bietet zahlreiche neue Möglichkeiten in der technischen Produktgestaltung. Insbesondere auf Leichtbau optimierte, hochkomplexe Strukturen lassen sich hiermit wirtschaftlich fertigen. Die Bauteile müssen jedoch auch speziell auf die Verfahren angepasst sein, um sicher, fehlerfrei und kostengünstig produziert werden zu können. Mit konventionellen Konstruktionsverfahren sind solche Strukturen nur schwer erzeugbar.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher eine Methodik zur intelligenten Optimierung von Produktgeometrien, angepasst an die additive Fertigung, entwickelt. Dies beinhaltet die automatische Erzeugung von anwendungsfallsspezifisch optimierten Geometrien sowie deren Überführung in Datenstrukturen, welche in konventionellen CAD-Systemen nutzbar sind. Als grundlegendes Werkzeug wird dabei die Topologieoptimierung verwendet, welche hochaufgelöst durchgeführt und im Anschluss mit hoher Qualität geglättet und weiterverarbeitet werden muss. Hierzu wurde ein durchgängiger voxelbasierter Ansatz gefunden, der auch die Anpassung der Geometrien an die additive Fertigung erlaubt. Die Entwicklung und Funktionalität des Ansatzes wird auf Basis mehrerer Beispielbauteile gezeigt. Das Ergebnis der Optimierungen sind hochkomplexe, im Detail optimierte und an die additive Fertigung angepasste Strukturen.

## **Summary**

Additive manufacturing as a tool-free manufacturing process offers numerous new opportunities in technical product design. Highly complex structures, particularly optimized for lightweight construction and resource efficiency, can be produced economically. However, the components must also be especially adapted to the processes in order to be able to be produced safely, faultlessly and cost-effectively. With conventional design methods, such structures are difficult to create.

In the context of this work, a methodology for the intelligent optimization of product geometries, adapted to additive manufacturing, is therefore developed. This includes the automatic generation of application-specific optimized geometries as well as their transfer into data structures, which can be used in conventional CAD systems. Topology optimization is used as a basic tool, which must be carried out in high resolution and subsequently smoothed and further processed with high quality. For this purpose, a consistent voxel-based approach was found, which also permits the adaptation of the geometries to additive manufacturing. The development and functionality of the approach is shown on the basis of several example components. The results of these optimizations are highly complex structures that have been optimized in detail and adapted to additive manufacturing.



## Liste der Vorveröffentlichungen<sup>1</sup>

DEPPE, G.; REIHER, T.; KOCH, R.: Cost and Lifetime Benefits of a Topology Optimized Aerospace Part applying Additive Manufacturing, Trieste, Oktober 2015

GRÄßLER, I.; TAPLICK, P.; POTTEBAUM, J.; SCHOLLE, P.; REIHER, T.: Data management for additive manufacturing: Survey on requirements and current state. In: Marjanović, D.; Štorga, M.; Pavković, N.; Bojčetić, N.; Škec, S. (Ed.): 14th International Design Conference, 2016, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

JAHNKE, U.; BÜSCHING, J.; REIHER, T.; KOCH, R.: Protection measures against product piracy and application by the use of AM, Austin, Texas, 2015

LINDEMANN, C.; REIHER, T.; JAHNKE, U.; KOCH, R.: Towards a sustainable and economic selection of part candidates for additive manufacturing. Rapid Prototyping Journal, Vol. 21, Iss. 2, 2015, p. 216–227

REIHER, T.; DEPPE, G.; KOCH, R.: Combining Material Efficiency and Part Reliability by Product Optimization applying Additive Manufacturing, Lemgo, September 2016

REIHER, T.; KOCH, R.: FE-Optimization and data handling for Additive Manufacturing of structural parts, Austin, Texas, 2015

REIHER, T.; KOCH, R.: Product Optimization with and for Additive Manufacturing, Austin, Texas, August 2016

REIHER, T.; LINDEMANN, C.; JAHNKE, U.; DEPPE, G.; KOCH, R.: Holistic approach for industrializing AM technology - From part selection to test and verification. Progress in Additive Manufacturing, Vol. 21, Iss. 2, 2017, p. 216

REIHER, T.; VOGELSSANG, S.; KOCH, R.: Computer integration for geometry generation for product optimization with Additive Manufacturing, Austin, Texas, August 2017

---

<sup>1</sup> Teile dieser Arbeit sind bereits in folgenden Dokumenten vorveröffentlicht





<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation .....	3
1.2 Zielsetzung und Notwendigkeit einer komplexen Struktur .....	4
1.3 Vorgehensweise .....	7
2 Numerische Simulation und digitale Geometrieverarbeitung .....	8
2.1 Finite Elemente Methode .....	8
2.2 Strukturoptimierung .....	15
2.2.1 Optimierungsansätze .....	16
2.2.1.1 Parameteroptimierung .....	17
2.2.1.2 Formoptimierung .....	18
2.2.1.3 Topologieoptimierung .....	19
2.2.2 Optimierungsziele .....	22
2.3 Digitale Geometrieverarbeitung .....	25
2.3.1 Grundlagen der 3D-Modellierung .....	25
2.3.2 Technisches CAD .....	26
2.3.2.1 ACIS .....	28
2.3.2.2 Stetigkeit .....	31
2.3.3 Digital Sculpting und Generative Design .....	32
2.3.3.1 Subdivision .....	33
2.3.3.2 Voxelm Modelle .....	37
3 Produktoptimierung mittels der Potentiale der additiven Fertigung .....	40
3.1 Verfahrensprinzip und Abgrenzung zu herkömmlichen Verfahren .....	40
3.2 Restriktionen / Konstruktionsrichtlinien .....	43
3.3 Technische Potentiale der additiven Fertigung .....	46
4 Handlungsbedarf .....	53
5 Voxelbasierte Methodik zur digitalen Geometriegenerierung .....	54
5.1 Datenverarbeitung im Produktentstehungsprozess .....	54
5.1.1 Gesamtprozess .....	54
5.1.2 Randbedingungen des Gesamtprozesses .....	61
5.2 Voxelbasierter Ansatz .....	64
5.2.1 Anforderungen an Geometriedaten zur effektiven Nutzung von AM .....	64
5.2.2 Konstruktion des Ausgangsmodells .....	66
5.2.3 Erstellung des Berechnungsmodells und Diskretisierung .....	66
5.2.4 Glättung von Voxelmodellen .....	68

---

5.2.4.1	Zweidimensionale Glättung.....	70
5.2.4.2	Dreidimensionale Glättung.....	82
5.2.5	Kerbspannungsreduktion mit Baumkurven .....	85
5.2.6	Offsetfunktionen.....	90
5.2.7	Rückführung in analytisch definierte Geometrien.....	92
5.2.8	Speicherbedarf und Komplexitätsabbildung.....	95
5.2.9	Zusammenfassung und Prozessbeschreibung auf Voxelbasis .....	98
5.3	Umsetzung mit OptiStruct und Geomagic Freeform .....	101
5.4	Umsetzung mit Eigenentwicklung.....	108
6	Anpassung der generierten Geometrien für die additive Fertigung .....	112
6.1	Geometrieanforderungen der additiven Fertigung .....	112
6.1.1	Digitale Prüfung der Konstruktionsregeln .....	115
6.1.2	Manuelle Korrektur der Ergebnisse nach Abschluss der Optimierung ..	119
6.1.3	Softwareintegrierte Korrektur während des Optimierungsprozesses.....	121
6.2	Strukturintegration als Erweiterung der Integralbauweise .....	122
7	Anwendungsbeispiele zur Topologieoptimierung und Evaluation .....	124
7.1	Topologieoptimierung eines Radträgers aus der Formula Student.....	124
7.1.1	Variante 2011: CAD, Fräsen .....	126
7.1.2	Variante 2013:CAD, Additive Fertigung .....	128
7.1.3	Variante 2013: CAD, Additive Fertigung, manuelle AM-Regeln .....	129
7.1.4	Variante 2014: höhere Auflösung, CAD, manuelle AM-Regeln .....	130
7.1.5	Variante 2015: Hochauflösend, Voxel CAD, manuelle AM-Regeln .....	131
7.1.6	Variante 2017: Strukturbauweise mit hoher Auflösung .....	132
7.1.7	Variante 2018: sehr hohe Voxelauflösung, mit Rückführung.....	134
7.2	Evaluationsbeispiel: Halter für Massenschwungrad .....	135
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	138
9	Literaturverzeichnis.....	141

## Verzeichnis der Abkürzungen

.x_b	Parasolid Dateiformat
1D	Eindimensional
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AESO	Additive Evolutionary Structural Optimization
AM	Additive Manufacturing (engl. für Additive Fertigung)
BESO	Bi-Directional Evolutionary Structural Optimization
B-Rep	Boundary Representation Schema
Bsp.	Beispiel
B-Splines	Basissplines
CAD	Computer Aided Design
CAO	Computer Aided Optimization
CFD	Computation Fluid Dynamics
CSG	Constructive Solid Geometry
CT	Computer Tomographie
Engl.	Englisch
ESO	Evolutionary Structural Optimizaition
FDM	Fused Deposition Modeling (engl. für Schmelzschichtung)
FE	Finite Elemente
FEA	Finite Elemente Analyse
FEM	Finite Elemente Methode
G <sup>2</sup> -stetig	Stetigkeit der zweiten Ableitung einer Flächenkrümmung
Gr.	Griechisch
NMS	Non-Maximum Suppression
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines

MBD	Multi Body Dynamics (engl. für Mehrkörpersimulation)
SIMP	Solid Isotropic Material with Penalization
SKO	Soft-Kill Optimierung
SLM	Selective Laser Melting (engl. für Laserschmelzen)
SLS	Selective Laser Sintering (engl. für Selektives Lasersintern)
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STL	Standard Triangulation Language
SubD	Subdivision Verfahren
TO	Topologieoptimierung
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
Vgl.	Vergleiche

## Verzeichnis der Formelzeichen

N	Newton
mm	Millimeter
$\underline{f}$	lokaler Kraftvektor
$\underline{F}$	globaler Kraftvektor
$\underline{k}$	Steifigkeitsmatrix
$\underline{K}$	Gesamtsteifigkeitsmatrix
$\underline{u}$	lokaler Verschiebungsvektor
$\underline{U}$	globaler Verschiebungsvektor
$\sigma$	Spannung
$\rho$	Dichte
$\mu\text{m}$	Mikrometer
$x_i$	Designvariable
E	Elastizitätsmodul
P	Bestrafungsfaktor (Penalizationfactor)
W	Watt
K	Formzahl für Kerben
$F_T$	Zug
$F_Q$	Querzug
$\alpha$	Umlenkwinkel
$D_i$	Bauteildurchmesser an der Position $i$



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Topologieoptimierter Motorradrahmen, additiv gefertigt [APW16] .....	1
Abbildung 1-2: Verlust an Optimierungsleistung bei Nachkonstruktion im CAD .....	2
Abbildung 1-3: Übersicht der Ziele dieser Arbeit .....	4
Abbildung 1-4: Komplexe Struktur mit Streben, Flächen und Kombinationen.....	5
Abbildung 1-5: Beispiel für hochkomplexe Sandwichstruktur .....	6
Abbildung 2-1: Ablauf Finite Elemente Methode; nach [Ste12].....	9
Abbildung 2-2: Vernetzung mit Drei- und Viereckelementen, nach [Mat10].....	10
Abbildung 2-3: Typen und Formen von FE-Elementen, nach [Wit10].....	11
Abbildung 2-4: 1D und 2D Ansatzfunktion und darstellbare Funktionsverläufe [Wit10] ..	11
Abbildung 2-5: Knotenverteilung an 3D-Elementen bei 1. und 2. Ordnung .....	12
Abbildung 2-6: Beispielhafter Vergleich von Lagerdefinitionen, nach [Alt15b] .....	12
Abbildung 2-7: Randbedingungen für FE-Modelle, nach [Fis11] .....	13
Abbildung 2-8: Abschnitt „Solver“ aus dem Berechnungsprozess .....	14
Abbildung 2-9: Abschnitt „Post-Processing“ aus dem Berechnungsprozess .....	15
Abbildung 2-10: Strukturoptimierungsprozess, nach [Har08].....	16
Abbildung 2-11: Gliederung der Strukturoptimierung.....	16
Abbildung 2-12: Schematische Darstellung von Basisvektoren [Pri13].....	18
Abbildung 2-13: Schematische Shape-Optimierung .....	19
Abbildung 2-14: Potenzansatz des SIMP-Algorithmus [Har08].....	21
Abbildung 2-15: Vergleich der „optimalen“ Struktur nach Verschiebungs- und Steifigkeitsansatz.....	24
Abbildung 2-16: Hybride Darstellung aus CSG und B-REP, nach [Sha01].....	27
Abbildung 2-17: Boundary representation Graph, nach [Ago05] .....	28
Abbildung 2-18: ACIS Repräsentationshierarchie [CL01].....	29
Abbildung 2-19: ACIS Geometrieelemente, nach [CL01].....	29
Abbildung 2-20: Schlechte Geometrierückführung durch manuelle NURBS [RK15].....	31
Abbildung 2-21: Gliederung „Digital Sculpting“ und „Generative Design“ .....	32
Abbildung 2-22: Interpolierende Subdivision zur Annäherung einer Kurve [Rom09] .....	33
Abbildung 2-23: Approximierende Subdivision einer Oberfläche [Rom09] .....	33
Abbildung 2-24: Nutzung von semi-scharfen Linien bei SubD, nach [ZS99].....	34
Abbildung 2-25: Verfeinerungsstufen eines Rohr T-Stücks als SubD-Flächen in Geomagic Freeform plus und Export als NURBS-Flächen im CAD .....	35
Abbildung 2-26: Mit sechs Grundkörpern erstellte SubD-Fläche, exportiert als NURBS ..	35
Abbildung 2-27: Detailbetrachtung der Krümmungsradien .....	36
Abbildung 2-28: Voxelmodell eines Radträgers mit 173,6 Millionen Voxeln .....	37
Abbildung 2-29: 15 Fälle des Marching Cube Algorithmus [LH17].....	38
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des SLM-Prozesses .....	41
Abbildung 3-2: Mathematische Herleitung eines nicht gekrümmten Elementes [ZA13] ..	43
Abbildung 3-3: Prüfkörper „Wand“ mit Formdefekten [ZA13].....	44



Abbildung 3-4: Ausschnitt aus Konstruktionsregelkatalog [ZA13].....	45
Abbildung 3-5: Hauptpotentiale der additiven Fertigung [RK16b].....	46
Abbildung 3-6: Produktoptimierung aufgrund gesteigerter Komplexität.....	47
Abbildung 3-7: „Complexity for free“; Entkopplung Kosten und Komplexität [LRJ+15] ...	48
Abbildung 3-8: Lastpfadabhängige Dichtenoptimierung von Fachwerken [CZB+15] .....	49
Abbildung 3-9: Beispiel für Integralbauweise.....	50
Abbildung 3-10: Kostengünstig integrierte Kühlstrukturen.....	51
Abbildung 3-11: Additiv gefertigte kundenindividuelle Implantate [EOS-ol] .....	52
Abbildung 5-1: Herkömmlicher Prozess von der Konzeption zum Bauteil, Teil 1: Konzeption und Entwicklung; Reiher, Jahnke nach [VDI 3405] .....	56
Abbildung 5-2: Herkömmlicher Prozess von der Konzeption zum Bauteil, Teil 2: Produktion; Reiher, Jahnke nach [VDI 3405].....	57
Abbildung 5-3: Datenflussmodell reduziert auf die Optimierung und Rückführung .....	59
Abbildung 5-4: Prozesskette für simulationsgetriebene Konstruktion, nach [Lan16c] .....	61
Abbildung 5-5: Fehler in der Diskretisierung mit Voxeln .....	67
Abbildung 5-6: Beispiele für unzureichende Ergebnisse aus der Topologieoptimierung.	69
Abbildung 5-7: Geometrie in parametrischer und geringer Pixeldarstellung .....	71
Abbildung 5-8: 1D-Filterung mit Mittelwertfilter .....	72
Abbildung 5-9: Mittelwert- und Gaußfiltern auf Grauwerte mit Bildranderweiterung .....	73
Abbildung 5-10: Rechteckimpuls geglättet mit Gauß-Filter .....	74
Abbildung 5-11: Schrittweise Glättung mithilfe des Gauß-Algorithmus.....	75
Abbildung 5-12: Mittelwert- und Gaußfilter auf Grauwerte ohne Bildranderweiterung .....	76
Abbildung 5-13: Grauwertfunktion mit Ableitungen zur Kantendetektion [BB05] .....	77
Abbildung 5-14: Beispiel für die Kantendetektion mittels Canny-Algorithmus [Can86] .....	79
Abbildung 5-15: Beispiel für eine Ecke geglättet mit einem Gaußfilter der Größe 10 mit unterschiedlich vielen Iterationen .....	80
Abbildung 5-16: Beispiel für eine Ecke geglättet mit unterschiedlichen Gaußfiltern .....	81
Abbildung 5-17: Ergebnisvergleich unterschiedlicher Größen und Iterationen eines Gaußfilters angewendet auf eine Grafik mit 300x300 Pixeln .....	81
Abbildung 5-18: Beispiel für eine dreidimensionale Geometrie in hoher (links) und geringer (rechts) Voxelauflösung.....	82
Abbildung 5-19: Beispiel zur Glättung eines X mit Materialschwund .....	83
Abbildung 5-20: Mehrstufige Glättung des X mit Offsetfunktion .....	83
Abbildung 5-21: Beispiel für Ringglättung mit Offset zur Volumenerhaltung.....	84
Abbildung 5-22: Beispiel zur Glättung von Voxeldarstellungen .....	84
Abbildung 5-23: Spannungskonzentration an Kreis- und Langloch, nach [MB03; RS09] .....	85
Abbildung 5-24: Auswirkung von Kerben auf die Kerbspannung, nach: [MB03] .....	86
Abbildung 5-25: Schrittweise Optimierung der Spannung an einer Kerbe [Sch04a] .....	87
Abbildung 5-26: Geometriebasierte Erzeugung einer Baumkurve, nach [MB03; Sch04a] .....	88
Abbildung 5-27: Offset bei zweidimensionalen Kurvenzügen .....	90
Abbildung 5-28: Vergleich Offseterstellung bei Polygon- und Voxelmolekellen.....	91
Abbildung 5-29: Nutzung der Offsetfunktion zur Unterstützung der Glättung .....	91

Abbildung 5-30: Methoden zur Rückführung in analytische Geometrien .....	93
Abbildung 5-31: Speicherbedarf in Abhängigkeit von der Auflösung .....	96
Abbildung 5-32: Speicherbedarf in Abhängigkeit von der Komplexität .....	96
Abbildung 5-33: Eignung von Repräsentationen für die Fertigung.....	98
Abbildung 5-34: Übersichtsgrafik des voxelbasierten Prozesses.....	101
Abbildung 5-35: Rückführung der Optimierungsergebnisse auf Voxelbasis [RK15] .....	102
Abbildung 5-36: Boolesche Funktionen zur Kombination von analytischen und voxelbasierten Elementen .....	103
Abbildung 5-37: Ausschnitt aus: Boolesche Funktionen zur Kombination von analytischen und voxelbasierten Elementen .....	105
Abbildung 5-38: Offset-basierte Filterung von dünnen Flächen in Geomagic.....	106
Abbildung 5-39: Konfigurationsdatei für Modellaufbau mit AMendate .....	109
Abbildung 5-40: Übersicht Arbeitsschritte und Zeitersparnis durch AMendate .....	110
Abbildung 6-1: Demonstration Grundprüfung 1: Abstand; Blick auf die Bauplattform ...	115
Abbildung 6-2: Unterschiedliche Oberflächenwinkel entlang eines Rohres .....	117
Abbildung 6-3: Beispielgeometrie zur Filterung durch Offsetfunktionen .....	120
Abbildung 6-4: Strukturintegration als Erweiterung zu Differential- und Integralbauweise .....	123
Abbildung 7-1: Formula Student Fahrzeug „PX216“ des UPBracing Team [UPB18] ....	124
Abbildung 7-2: Radmodul PX216 mit Anbauteilen [RK17] .....	125
Abbildung 7-3: Optimierung und CAD-Umsetzung, PX211 und PX212 [RK14] .....	127
Abbildung 7-4: Radträger, Variante 2: Optimierung mit konventioneller Konstruktion für die additive Fertigung [RK14] .....	128
Abbildung 7-5: Radträger, Variante 3: manuell nach Konstruktionsregeln [RK14] .....	129
Abbildung 7-6: Radträger, Variante 4: höher aufgelöste Optimierung, Nachkonstruktion mit konventionellem CAD, angepasst auf AM [RK14].....	130
Abbildung 7-7: Radträger, Variante 5: hoch aufgelöste Optimierung, voxelbasierte Rückführung, manuelle Anpassung auf AM [RK15].....	131
Abbildung 7-8: Variante 6: Strukturbauweise, hochaufgelöste TO mit voxelbasierter Rückführung [RK17] .....	132
Abbildung 7-9: 2-stufige Optimierung von Radträger mit Bremssattel .....	133
Abbildung 7-10: Variante 7: Voxelbasierte Topologieoptimierung mit automatischer Rückführung in druckfähige CAD-Daten.....	134
Abbildung 7-11: Evaluationsbeispiel „Reaction Wheel Bracket“, nach [RK15].....	135
Abbildung 7-12: Optimierungsergebnis, nach [RK15].....	136
Abbildung 7-13: Optimiertes und ins CAD zurückgeführtes RW-Bracket.....	137



---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1:	Standardelemente und Attribute zur Prüfung der Konstruktionsregeln, nach [Ada15] .....	114
Tabelle 6-2:	Konstruktionsregeln prüfbar mit Grundprüfung Abstand .....	116
Tabelle 6-3:	Konstruktionsregeln prüfbar mit Grundprüfung Winkel .....	117
Tabelle 6-4:	Konstruktionsregeln prüfbar mit Grundprüfung Fläche .....	118
Tabelle 7-1:	Übersicht der Entwicklungsversionen des Radträgers.....	125
Tabelle 7-2:	Vergleich der Versionen PX214, PX216 und PX217 .....	133



*“For every complex problem there is a simple solution.  
And it is always wrong.”*

*(Henry Louis Mencken, Publizist (1880–1956))*