

## Cup Extrusion with Several Moving Tool Elements for Ram Force Reduction

This article shows a technological option for expanding existing process limits in the extrusion of thin-walled components. Unlike in conventional cup extrusion, an additional movement of the counter punch can considerably reduce the force working on the cup punch. Cup-shaped components can thus be produced with thinner walls than usually possible with identical ram force tensions. A path regulation of the previously numerically optimized kinematics of the counterpunch is intended to combat the earlier disadvantages of the process version.

# Napf-Fließpressen mit mehreren bewegten Werkzeugelementen zur Reduzierung der Stempelkraft

Dipl.-Ing. Christian Mletzko,  
 Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald MBA,  
 Dr.-Ing. Alexander Felde,  
 Dipl.-Ing. Thorben Schiemann, Stuttgart

Im vorliegenden Beitrag wird eine technologische Möglichkeit aufgezeigt, bestehende Verfahrensgrenzen beim Fließpressen dünnwandiger Bauteile zu erweitern. Durch eine gegenüber dem konventionellen Napf-Fließpressen zusätzliche Be-

wegung des Gegenstempels kann die auf den Napfstempel wirkende Kraft merklich verringert werden. Bei gleichen Stempeldruckspannungen lassen sich so napfförmige Bauteile mit geringeren Wanddicken als sonst möglich fertigen. Bisher bestehende Nachteile dieser Verfahrensvariante sollen durch eine Weg-Regelung der zuvor numerisch optimierten Kinematik des Gegenstempels überwunden werden.

### Einleitung

Die umformtechnische Fertigungskette für die Herstellung hohler Bauteile kann die Fließpressverfahren Napf-Rückwärts- sowie Napf-Vorwärts-Fließpressen beinhalten. Diesen Verfahren sind, durchgeführt bei Raumtemperatur, gewisse Grenzen im Hinblick auf die erreichbare geometrische Werkstückgestaltung gesetzt. Eine Verfahrensgrenze beim Napf-Fließpressen bilden die minimal erreichbaren Napfwanddicken, welche durch die maximal ertragbaren Druckspannungen des Stempels und daher durch den Quotienten aus maximaler Stempelkraft und minimalem Stempelquerschnitt bestimmt werden. Als maximal ertragbare Druckbelastung gilt für üblich eingesetzte Werkzeugstähle  $\sigma_{Dmax} = 2.800 \text{ MPa}$  [1]. Weiterhin hängt die Belastbarkeit des Napfstempels auch von seiner Länge und seiner damit verbundenen Knicksteifigkeit ab.

Im Zuge der aktuellen Bestrebungen um Leichtbau und Ressourceneffizienz muss nach wirtschaftlichen Möglichkeiten Ausschau gehalten werden, napfförmige Bauteile mit

möglichst dünnen Wandbereichen zu fertigen. Bei der umformtechnischen Fertigung von hohlen Fließpressteilen verspricht eine Minimierung der versagensfrei erreichbaren Wanddicke über die heute existierenden Verfahrensgrenzen des Napf-Fließpressens hinaus bedeutende technologische und wirtschaftliche Vorteile dadurch, dass nachfolgende Bearbeitungsstufen wie zum Beispiel das Abstreckgleitziehen eingespart werden können. Mit reduzierten Napfwänden – und somit größeren Werten der bezogenen Querschnittsänderung  $\epsilon_A$  als Verhältnis der Durchmesserquadrate von Napfstempel  $D_{St}$  und Matrize  $D_M$  – steigt beim Napf-Fließpressen die Stempeldruckbelastung ausgehend von einem Minimum bei  $\epsilon_A \approx 0,5$  [2] an, sodass sie bei einer bestimmten Querschnittsänderung ihren kritischen Wert  $\epsilon_{Amax}$  erreicht. Die maximal erreichbare bezogene Querschnittsänderung  $\epsilon_{Amax}$  liegt in etwa bei 0,6 für festere und bei zirka 0,75 für weichere Umformstähle [1].

Zur Erweiterung dieser Verfahrensgrenze können zwei Ansätze verfolgt werden: Verwendung von weiterentwickelten Werkzeug-

werkstoffen für den Napfstempel mit einer damit verbundenen Erhöhung der maximal ertragbaren Druckbelastung oder Maßnahmen zur Reduzierung der Stempelkraft. Letzteres kann zum Beispiel durch Napf-Fließpressen mit Entlastungszapfen oder gegen einen kugelförmigen Hohlraum (Durchsetzen) [1] oder aber durch Quer-Napf-Vorwärts- anstatt Napf-Fließpressen [3] umgesetzt werden. Weitere Potenziale zur Verringerung der Stempelkraft konnten im Rahmen einer Studie für die German Cold Forging Group (GCFG) derart identifiziert werden, dass die Einleitung zusätzlicher Zugkräfte in die Napfwand zur Unterstützung oben genannter Formgebungsprozesse ausgenutzt werden [4-7]. Die Krafteinleitung erfolgt entweder durch Reib- oder Formschluss zwischen Werkstück und Matrize, siehe Bild 1. In beiden Fällen ist neben der Bewegung des Napfstempels mit dem Pressenstößel die Bewegung des Gegenstempels in Richtung der Napfstempelbewegung oder aber die Bewegung der Matrize entgegen der Napfstempelbewegung notwendig. Neben dem mit dem Pressenstößel bewegten Napfstempel kann die

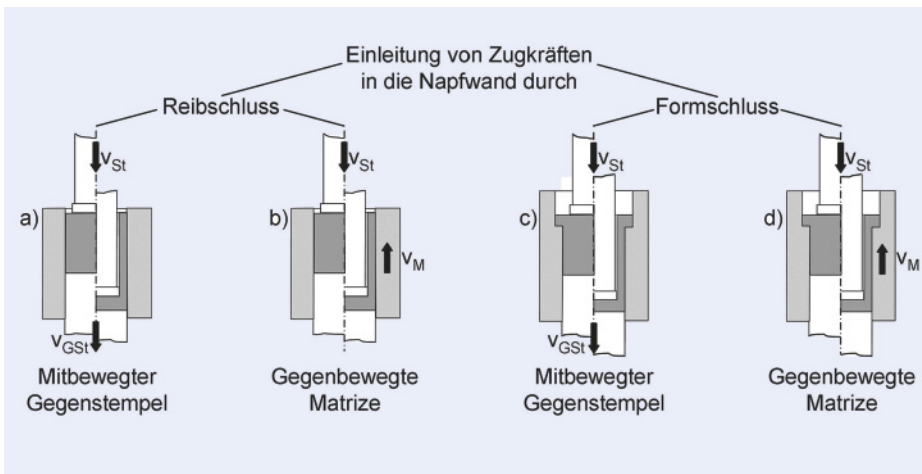


Bild 1: Reib- und formschlüssige Krafteinleitung beim Napf-Fließpressen mit in Richtung des Napfstempels bewegtem Gegenstempel beziehungsweise entgegen der Richtung des Napfstempels bewegter Matrize.

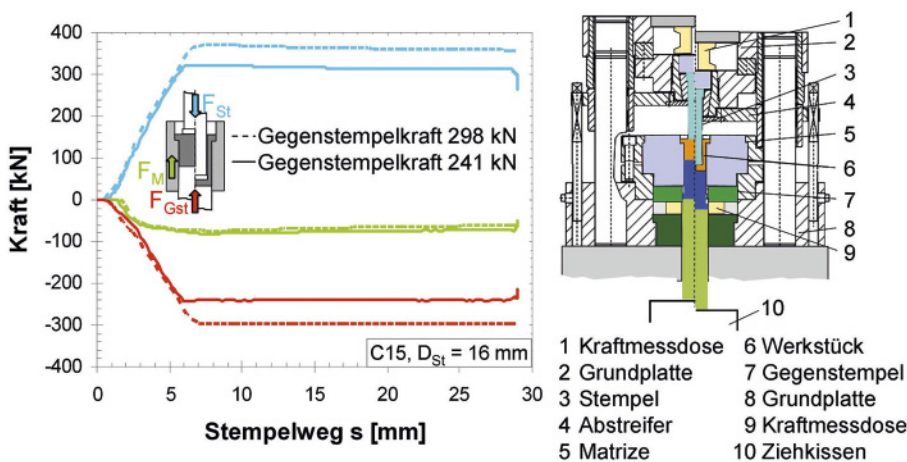


Bild 2: Versuchsaufbau für das Napf-Fließpressen mit formschlüssiger Einleitung zusätzlicher Zugkräfte in die Napfwand sowie auf die Werkzeugkomponenten wirkenden Prozesskräfte bei variiertem Gegenstempelkraft; Werkstoff C15, Stempeldurchmesser 16 mm.

Bewegung des weiteren Werkzeugelements – Gegenstempel oder Matrize – kraft- oder weggeregelt erfolgen.

### Napf-Fließpressen mit in Richtung des Napfstempels bewegtem Gegenstempel

Für die hier vorgestellten Ergebnisse zur formschlüssigen Einleitung zusätzlicher Zugkräfte in die Napfwand nach Bild 1 c) erfolgten experimentelle Untersuchungen mit einem modularen Werkzeug gemäß Bild 2, welches in einer hydraulischen Presse mit maximaler Stößelkraft von 2.000 kN und maximaler Ziehkissenkraft von 600 kN montiert wurde. Das Ziehkissen der Versuchspresse wurde jeweils für den passiven Antrieb des Gegenstempels verwendet. Das Werkzeug basiert auf einem Säulengestell und ist mit einem Napfstempel (Durchmesser  $D_{St}$  von 16 mm, 17 mm oder 18 mm) im oberen Werkzeugteil und einer armierten Matrize mit Innendurchmesser  $D_M = 20$  mm im unteren Werkzeugteil ausgestattet. Durch den Einbau von Kraftmessdosen kann sowohl die Napfstempel- als auch die Matrizenkraft während des Umformvor-

gangs gemessen werden. Somit ist die rechnerische Bestimmung der Gegenstempelkraft aus der Bedingung des Kräftegleichgewichts möglich. Die Wegmessung erfolgte im Rahmen dieser Untersuchungen mithilfe eines zwischen Pressentisch und -stößel montierten potentiometrischen Wegsensors. Die Fertigung der zylindrischen Rohteile mit Flansch aus dem Stahl C15 erfolgte spanend (Werkstückdurchmesser 19,9 mm, Flanschdurchmesser 23 mm, Werkstückgesamthöhe 20 mm, Flanshhöhe 3 mm); anschließend wurden die Teile weichgeglüht und vor deren Beschichtung mit Zink-Phosphat und Seife mit Stahlguss gestrahlt.

Während der Pressversuche mit einem Stempel mit 16 mm Durchmesser wurde die Gegenstempelkraft durch die entsprechende Einstellung des Ziehkissendruckes vor jedem nächsten Versuch verringert. Zwecks eines besseren Verständnisses der technologischen Gesetzmäßigkeiten dieses Verfahrens wurde eine vergleichende Analyse der auf die einzelnen aktiven Werkzeugkomponenten wirkenden Prozesskräfte in zwei Pressvor-

gängen mit unterschiedlich eingestellter Gegenstempelkraft unternommen. In Bild 2 sind die entsprechend markierten Prozesskraftkurven gegenübergestellt. Es ist ersichtlich, dass die Verringerung der Gegenstempelkraft zwischen den Varianten mit  $F_{Gst} = 298$  kN und  $F_{Gst} = 241$  kN eine nicht proportionale Verminderung der Napfstempelkraft verursacht. Der Matrizenkraftverlauf liegt im Fall der geringeren Gegenstempelkraft betragsmäßig geringfügig tiefer.

In Bild 3 werden die in dieser Versuchsserie erzeugten Pressteile den dabei aufgenommenen Napfstempelkraftverläufen zugeordnet. Als Referenzvariante ist im Diagramm die in einem Pressvorgang mit feststehendem Gegenstempel aufgenommene Napfstempelkraftkurve eingezeichnet. An den Pressteilen ist mit abnehmender Gegenstempelkraft eine zunehmende Verformung des Flansches bis hin zum Abriss des Kragens (ganz rechts) zu erkennen. Es zeigt sich eine deutliche Verringerung der Napfstempelkraftverläufe durch die Reduzierung der Gegenstempelkraft. Die maximale festgestellte Verringerung der Napfstempelkraft beträgt 24 Prozent, berechnet aus der maximalen Stempelkraft bei der Versuchsdurchführung mit einer Gegenstempelkraft  $F_{Gst} = 215$  kN im Vergleich zum Fall mit feststehendem Gegenstempel, also konventionellem Napf-Rückwärts-Fließpressen. Während des Pressvorgangs mit  $F_{Gst} = 215$  kN erfolgte das Abtrennen des Flansches, wodurch der Umformprozess unterbrochen und das Pressteil über den restlichen Napfstempelweg durch die Matrize geschoben wurde. Dieser Versagensfall stellt jedoch keine Grenze dieses Verfahrens dar, da die Schädigung nicht in der Napfwand entstand und durch eine optimierte Dimensionierung des Flansches in einen Bereich noch höherer Zugkräfte in der Napfwand verschoben hätte werden können. Demzufolge erscheint eine noch größere Reduzierung der Napfstempelkraft mit diesem Verfahren denkbar.

Die Napfstempelkraft bei dieser Verfahrensvariante kann sowohl relativ als auch absolut mit steigender Querschnittsänderung weiter reduziert werden. Ausgehend von 24 Prozent beziehungsweise 95 kN bei Stempeldurchmesser  $D_{St} = 16$  mm ( $\epsilon_A = 0,64$ ) beträgt die ermittelte Reduzierung 28 Prozent beziehungsweise 123 kN ( $D_{St} = 17$  mm,  $\epsilon_A = 0,72$ ) und 40 Prozent beziehungsweise 220 kN ( $D_{St} = 18$  mm,  $\epsilon_A = 0,81$ ).

### Numerische Optimierung der Werkzeugkinematik mit mehreren bewegten Werkzeugelementen

Einen bedeutenden Nachteil der hier untersuchten Werkzeugtechnik mit nahezu konstanter Krafteinstellung des beweglichen Gegenstempels mittels des Ziehkissens der

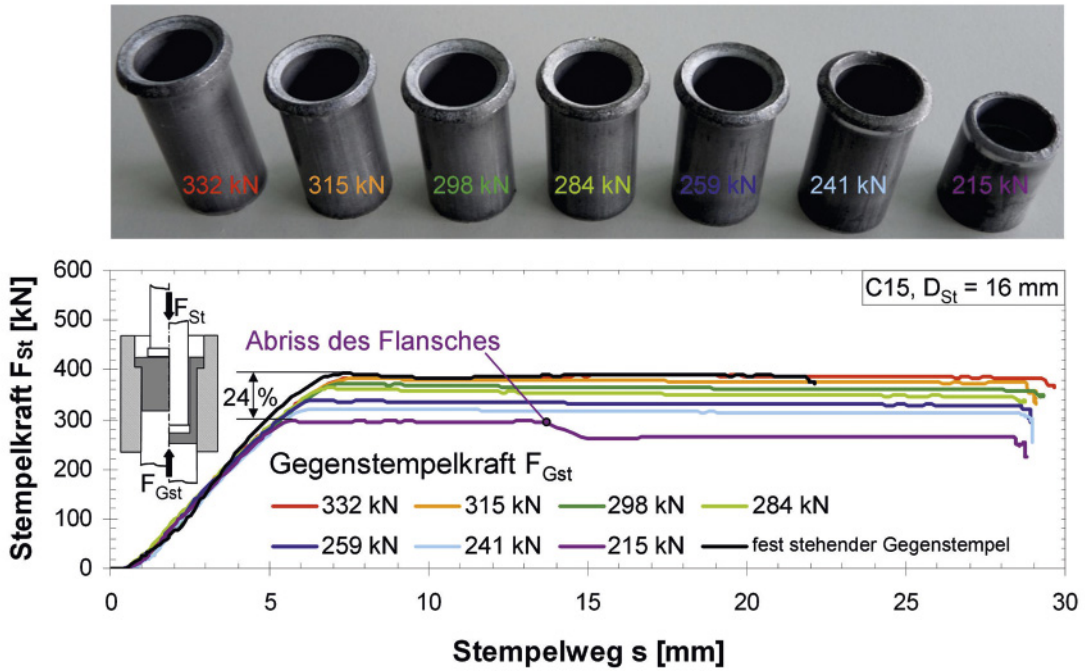


Bild 3: Verläufe der Napfstempelkraft für fest stehenden und mit unterschiedlichen Kräften beaufschlagten Gegenstempel; Werkstoff C15, Stempeldurchmesser 16 mm.

verwendeten hydraulischen Presse bildet eine nicht genügende Reproduzierbarkeit der finalen Pressteilgeometrie. Zur Vermeidung dieses Nachteils müsste die bisher passive Gegenstempelbewegung durch eine aktive, regelbare Achse werkzeug- oder pressenseitig ersetzt werden. Im Zuge gegenwärtiger Forschungsarbeiten auf dem Gebiet geregelter Fließpressprozesse mit mehreren bewegten Werkzeugelementen wird dafür eine Methodik zur Erstellung numerisch optimierter Werkzeugbewegungsprofile entwickelt. Hierfür wird Software zur FEM-Prozesssimulation und Mehrzieloptimierung miteinander durch Batch-Processing automatisiert gekoppelt (Bild 4).

Im Fall des hier vorgestellten Verfahrens wäre zum Beispiel der Verlauf der Napfstempelkraft  $F_{St}$  über dem Napfstempelweg  $s$  als Zielfunktion denkbar. Durch Begrenzung der auf den Napfstempel wirkenden Kraftbeaufschlagung wäre ein Überschreiten der maximal zulässigen Stempeldruckspannung damit selbst beim Pressen dünnwandiger Napfgeometrien ausgeschlossen. Durch Wahl der zu erreichenden Napfbodendicke  $b$  als notwendige Nebenbedingung könnte gleichzeitig eine Verbesserung der finalen Pressteilgeometrie erreicht werden. Die numerisch optimierte Gegenstempelkinematik  $v_{Gst}$  über  $s$  dient dann als Führungsgröße in einem Versuchsaufbau mit regelbarer Achse.

**Ausblick**

Das in den vorgestellten Untersuchungen verwendete Versuchswerkzeug wurde für den Betrieb in einfach wirkenden Pressen um eine integrierte zusätzliche Bewegungsachse in Form eines servo-hydraulischen Zylinders, dessen Achsregelung derzeit implementiert wird, erweitert. Mit zuvor numerisch optimierten Gegenstempelkinematiken gemäß des vorgestellten Vorgehens nach Bild 4 soll in weiteren experimentellen Untersuchungen der Nachweis geführt werden, die heutzutage konventionell erreichbaren minimalen Wanddicken tatsächlich reduzieren zu können. Weiterhin soll damit die Reproduzierbarkeit der Pressteile zufriedenstellend erhöht werden.

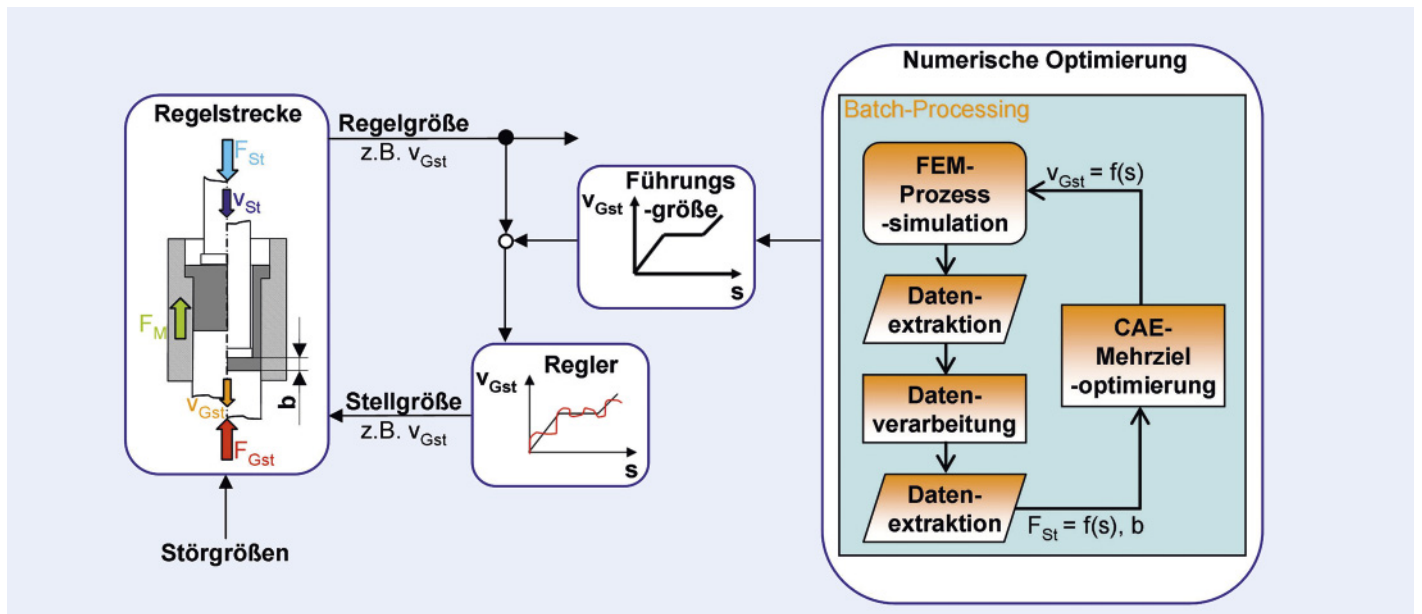


Bild 4: Ablaufdiagramm zur Bestimmung numerisch optimierter Führungsgrößen für geregelte Massivumformprozesse mit mehreren bewegten Werkzeugelementen.

Bilder: Autoren

Für eine industrielle Anwendung ist weiterer Forschungsbedarf insbesondere in Bezug auf die Gestaltung der Flanschgeometrie zu erkennen, um noch höhere Zugkräfte durch eine formschlüssige Verbindung einleiten zu können. Neben den hier vorgestellten Verfahrenserweiterungen beim Napf-Fließpressen, die durch regelbare, zusätzliche Werkzeugachsen erzielt werden, werden weitere Potenziale von regelbaren Massivumformprozessen derzeit im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte am IFU untersucht. ■



Dipl.-Ing.  
Christian Mletzko



Prof. Dr.-Ing.  
Mathias Liewald MBA



Dr.-Ing.  
Alexander Felde



Dipl.-Ing.  
Thorben Schiemann

#### Danksagung

Die Autoren danken der German Cold Forging Group für die Finanzierung der Studie „Minimierung der Wanddicke beim Napf-Fließpressen“.

#### Literatur

- [1] Lange, K., Kammerer, M., Pöhlandt, K., Schöck, J.: Fließpressen : Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke. Springer-Verlag, Berlin, 2008, ISBN 978-3-540-30909-3.
- [2] Schmitt, G.: Untersuchungen über das Rückwärts-Fließpressen von Stahl bei Raumtemperatur. Dissertation Universität Stuttgart, Verlag W. Girardet, Essen, 1968.
- [3] Osen, W.: Untersuchungen über das kombinierte Quer-Napf-Vorwärts-Fließ-

pressen. Dissertation Universität Stuttgart, Springer-Verlag, Berlin, 1987, ISBN 3-540-17349-8.

[4] Liewald, M; Felde, A.: Die Produktanforderungen bestimmen die zukünftigen Kompetenzen in der Massivumformung – ein Situationsbericht des Instituts für Umformtechnik. Internationale Konferenz: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung, 17. - 18.05.2011, Fellbach, S. 207-244, ISBN 978-3-88355-386-3.

[5] Schiemann, T.; Liewald, M.; Mletzko, C.; Felde, A.: Verfahrensentwicklungen zum Fließpressen hohler Leichtbaukomponenten: Erweiterung von Verfahrensgrenzen durch Integration zusätzlicher Bewegungsachsen in Massivumformwerkzeugen. 27. Jahrestreffen der

Kaltmassivumformer, 15. - 16.02.2012, Düsseldorf.

[6] Mletzko, C.; Liewald, M.; Felde, A.: Verfahrenskonzepte zur Minimierung der Wanddicke beim Napf-Fließpressen mittels einer zusätzlichen Werkzeugbewegungsachse. MEFORM 2012 – Werkstofftechnologie und Massivumformung, 28. - 30.03.2012, Freiberg, S. 279-291, ISBN 978-3-86012-434-5.

[7] Felde, A.; Liewald, M.; Mletzko, C.: Weiterentwicklung von Verfahren der Kaltmassivumformung zur Herstellung von hohlen Leichtbaukomponenten. Internationale VDI-Fachkonferenz: Getriebeproduktion in der Automobilindustrie, 19. - 20.06.2012, Friedrichshafen, ISBN 978-3-942980-12-8.