

Neue effiziente Prozesslösungen der Schweißtechnik für Industrie und Handwerk

B. Dalmer, B. Jaeschke, Auenwald

Der Begriff Effizienz steht für Wirtschaftlichkeit, Kosten-Nutzen-Relation, den rationellen Umgang mit knappen Ressourcen, das Verhältnis zwischen Nutzenergie und energetischem Aufwand und damit allgemein für die optimale Verwendung von Produktionsfaktoren. Die Möglichkeiten der Effizienzsteigerung sind grundsätzlich sehr vielfältig und daher von potenziellen Anwendern für ihre jeweiligen konkreten Rahmenbedingungen oft schwer einzuschätzen.

Die hier dargestellten Anwendungsfälle sind reale Beispiele und sollen als Anregung dienen, wie mit modernsten Schweißstromquellen und Zubehör der Produktionsprozess in der Industrie und die Lösung der Schweißaufgabe im Handwerk effizienter gestaltet werden können.

Es wird deutlich, dass effizienzsteigernde Wirkungen bei konkreten Einsatzfällen mit der richtigen Anpassung der schweißtechnischen Möglichkeiten an die Aufgaben und Rahmenbedingungen einhergehen. Hierzu dienen die im Folgenden gegebenen konkreten Anwendungsbeispiele als Anregung.

1 Effizienz: optimale Verwendung von Produktionsfaktoren

Im Hinblick auf die optimale Verwendung von Produktionsfaktoren sind unter anderem die folgenden Aspekte zu beachten.

- **Absicherung von Prozess- und Verarbeitungsfenstern der Werkstoffe:**
Jeder Lichtbogenschweißprozess hat einen begrenzten Arbeitsbereich für seine sinnvolle Anwendung. Es gibt Grenzen der Abschmelzleistung, der Schweißgeschwindigkeit, des stabilen spritzerarmen Lichtbogens, der Freiheit von Bindefehlern und vieler anderer Aspekte. Die vom Lichtbogenschweißprozess beeinflussten Werkstoffe haben ihrerseits ein begrenztes Verarbeitungsfenster, dessen Einhaltung für die Garantie der mechanisch-technologischen Eigenschaften erforderlich ist. Besonders bedeutsam ist für viele Werkstoffe die Wärmeleitung. Die Arbeitsbereiche des Lichtbogenschweißprozesses und die Verarbeitungsfenster des Werkstoffes müssen für jeden bedeutsamen Aspekt der Betrachtung, z.B. bezüglich der Wärmeleitung, als Schnittmenge übereinstimmen [1].
- **Auswahl des Lichtbogentyps:**
Dieser Aspekt betrifft die Auswahl von speziell in ihren Eigenschaften und Wirkungen ausgeprägten Lichtbogentypen, wie z.B. modifizierter Impulslichtbogen, geregelter Kurzlichtbogen, modifizierter Sprühlichtbogen und kombinierte Prozessvarianten. Sie stehen im Zusammenhang mit dem Merkblatt DVS 0973 Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens [2]. Die Auswahl des Lichtbogentyps, bzw. der spezifischen Prozessregelvariante, steht in enger Wechselwirkung mit den anderen hier genannten Aspekten.
- **Schweißnahtvorbereitung:**
Untersuchungen von neutralen Instituten und Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalten (SLV) haben gezeigt, dass von den in der DIN EN ISO 9692-1 beschriebenen Nahtvorbereitungen unter bestimmten Bedingungen abgewichen werden kann. Von besonderem Vorteil ist dabei das mögliche Erreichen eines geringeren Nahtvolumens. Die Güte der Schweißnaht sollte bei abweichender Nahtvorbereitung im Vergleich zur DIN EN ISO 9692-1 durch eine entsprechende Verfahrensprüfung gemäß DIN EN ISO 15614-1 nachgewiesen werden. Hinweise hierzu gibt das Merkblatt DVS 0973-2 [3].
- **Grad der Mechanisierung:**
Ein niedriger oder hoher Grad der Mechanisierung, von einem handgeführten Schweißbrenner bis hin zur vollmechanisierten Lichtbogenführung und Werkstückpositionierung, ist nicht gleichzusetzen mit der erreichbaren Effizienz bei der Herstellung der Fügeverbindung. Der Grad der Mechanisierung steht in Wechselwirkung mit den anderen Produktionsfaktoren. So können auch einfache Lösungen zur Automatisierung von kleinen und mittleren Schweißaufgaben bereits vorteilhaft sein [4]. Die Eigenschaften und verfügbaren Steuerparameter bestimmter Prozessregelvarianten und der Schweißstromquelle sollten gut zum Grad der Mechanisierung und zur Art der Automatisierung passen, damit sich eine effiziente Gesamtlösung ergibt [5].
- **Energieeffizienz:**
Die Einsparung von natürlichen Ressourcen und die Verringerung der Belastung unserer Umwelt ist in vielen Fällen inzwischen auch mit positiven Auswirkungen auf den gesamten Herstellungs- und Vermarktungsprozess der Produkte verknüpfbar. Schweißstromquellen werden zukünftig als „machine tools“ von der europäischen Richtlinie für energieverbrauchsrelevante Produkte (ErP-Richtlinie, Ecodesign-Richtlinie) [6] erfasst und für den elektrischen Wirkungsgrad und die Standby-By-Leistung sind internationale Standards im Entstehen. Mit einer

umfassenderen Sicht lässt sich die Energieeffizienz des gesamten Fertigungsprozesses sogar noch wesentlich weiter verbessern. Zum Beispiel bewirkt die Halbierung des Nahtvolumens einer Schweißverbindung eine größere Energieeinsparung, als eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Schweißstromquelle auf technisch nie erreichbare 100%. Daher ist die gesamte Berücksichtigung des Schweißprozesses, inklusive vor- und nachgelagerter Konstruktions- und Produktionsschritte, vernünftig und bereits in Diskussion.

Diese Aspekte zeigen, dass die Möglichkeiten der Effizienzsteigerung sehr vielfältig sind. Sie sind daher auch von potenziellen Anwendern für ihre jeweiligen konkreten Rahmenbedingungen oft schwer einzuschätzen. Die im Folgenden dargestellten Anwendungsfälle sind reale Beispiele und sollen als Anregung dienen, wie mit modernsten Schweißstromquellen und Zubehör der Produktionsprozess in der Industrie und die Lösung der Schweißaufgabe im Handwerk effizienter gestaltet werden können.

2 Anwendungsbeispiel: Behälter-Segment

Aufgabe: Zu schweißen sind Rohr-Rohr-Verbindungen der Grundmaterialien 1.4301 und S355 in $t=6,0\text{mm}$ und $8,0\text{mm}$ mit Durchmessern bis zu 6m und Fernsteuerung des Schweißprozesses (**Bild 1, Bild 2**). Neben der einwandfreien Schweißverbindung sind weitere Ziele, gegenüber der bisherigen Lösung zusätzlich Arbeitszeit in der Schweißvorbereitung, Schweißzeit, sowie Material und Energie einzusparen.



Bild 1. Ansicht des Behältersegmentes auf Rollenbockdrehvorrichtung beim Endanwender



Bild 2. Zentrale Steuerung von Schweißstromquelle, Brennerpositionierung, Rollenbockdrehvorrichtung und Kamera-Prozessüberwachung



Bild 3. Ansicht der durchgeschweißten Wurzel, aufgeschmolzene Heftstelle mittig im Bild, Dicke $t=6\text{mm}$

Schritte zur Lösung:

Die Aufgabe wurde zur Klärung vom Lorch Application Center (LAC) übernommen. Die bisherige aufwendige V-Naht-Vorbereitung mit Keramik-Badsicherung wird durch eine einfachere I-Naht-Vorbereitung mit definiertem Spaltmaß von 4mm unter Beibehaltung der Badsicherung ersetzt. Es ist dabei sicherzustellen, dass die Heftstellen der Vormontage bei der Endschweißung vollständig aufgeschmolzen werden (**Bild 3**). Daher wurde ein besonders dafür geeigneter modifizierter MSG-Impulsschweißprozess (SpeedPulse-XT) verwendet. Auf Grund der I-Naht-Vorbereitung und der guten Lichtbogendurchdringung ist die Schweißung bis t=8mm prozesssicher in Position PA in nur einer Lage möglich.

Ergebnis:

Die Lösung wurde beim Anwender installiert und das effiziente prozesssichere Schweißen mit I-Naht-Vorbereitung wurde anhand der Verfahrensprüfung nachgewiesen. Die Anlage ist in Betrieb.

Tabelle 1. Effizienzaspekte vom Anwendungsbeispiel Behälter-Segment

Effizienzaspekte	Lösungsbestandteile
Kostenreduktion	Verringerung der Kosten für die Nahtvorbereitung, der Schweißzeit, Verringerung des eingebrachten Zusatzwerkstoffes
Absicherung von Prozess- und Verarbeitungsfenstern	Aufschweißen der Heftstellen, Einsparung einer Schweißlage
Auswahl des Lichtbogentyps	Modifizierter Impulslichtbogen (SpeedPulse-XT)
Schweißnahtvorbereitung	Einfache I-Nahtvorbereitung mit Badsicherung, Minimierung Nahtvolumen
Grad der Mechanisierung	Vollmechanisiert, Nutzung des vorhandenen Systems
Energieeffizienz	geringerer elektrischer Energieaufwand durch geringeres Nahtvolumen, geringer Standby-By-Energieverbrauch der Schweißstromquellen

3 Anwendungsbeispiel: Parkhaus Messe Stuttgart (Bild 4)

Aufgabe: Zur Fertigung und Montage der Buchstaben stand nur wenig Zeit zur Verfügung. Es lag Einzelfertigung mit anspruchsvollen Schweißpositionen und hohen Sicherheitsanforderungen an die Schweißnähte vor.



Bild 4. Parkhaus Messe Stuttgart

Lösung:

Durch die Verwendung von Tiptronic-Schweißjobs der Schweißstromquellen war die gewohnte Systematik der Schweißer auch für die Einzelfertigung mit immer guten Schweißergebnissen problemlos übertragbar auf die Einzelstücke. Alle Schweißnähte an den geometrisch komplexen Bauteilen (Buchstaben und Fachwerkträger) konnten ohne aufwändige Umpositionierung geschweißt werden. Sehr effizient ist dabei das einfache Umschalten auf die Prozessregelvariante SpeedUp [7] (zyklischer Prozess). Mit einfacher Aufwärtsbewegung des Brenners wurde das prozesssichere Schweißen der Steignähte auch unter enger Zugänglichkeit durchgeführt. Die Längsnähte wurden mit dem Geschwindigkeitsvorteil der Prozessregelvariante SpeedArc [8] (modifizierter Sprühlichtbogen) verschweißt. Beide Prozessregelvarianten erlauben sehr gut das manuelle Schweißen in engen Spalten.

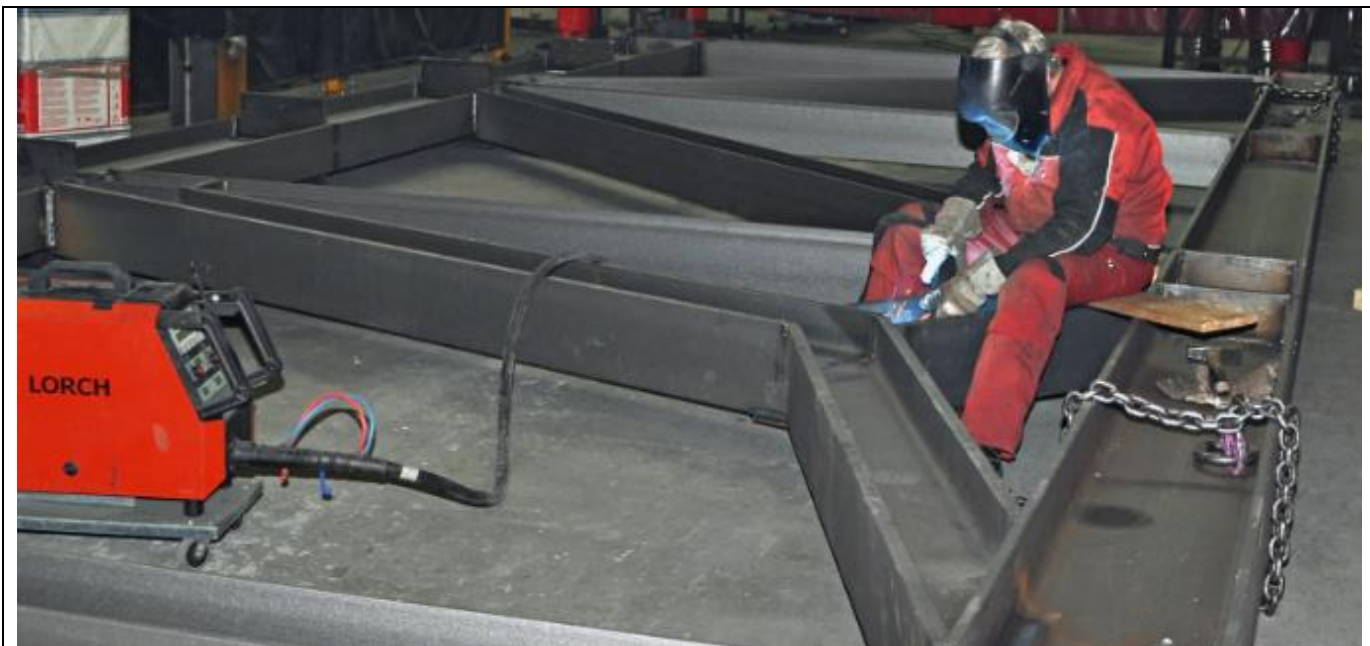


Bild 5. Profilträger werden zu Fachwerkverbindern verschweißt

Tabelle 2. Effizienzaspekte vom Anwendungsbeispiel

Effizienzaspekte	Lösungsbestandteile
Kostenreduktion	Einsparung Produktionszeit, Vermeidung von Fehlern und Nacharbeit
Absicherung von Prozess- und Verarbeitungsfenstern	Verwendung von besonderen Prozessregelvarianten, Verwendung eingeübter Schweißereinstellungen über das Tiptronic-Jobsystem der Schweißstromquellen, Job-Umschaltung am Brenner
Auswahl des Lichtbogentyps	Zyklische Prozessregelvariante (SpeedUp), Modifizierter Sprühlichtbogen (SpeedArc)
Schweißnahtvorbereitung	I, V, HV
Grad der Mechanisierung	Manuelle Schweißungen, einfaches Wenden der Bauteile am Boden
Energieeffizienz	geringerer elektrischer Energieaufwand auf Grund der verwendeten Prozessregelvarianten, geringer Standby-Energieverbrauch der Schweißstromquellen

4 Anwendungsbeispiel: Sitz- und Schaltsysteme für Automobilindustrie

Aufgabe: Erhöhung der Effizienz bei vollautomatisierter Schweißung von gewichtsminimierten dünnwandigen Rohr-Rohr- und Blech-Rohr-Verbindungen aus Stahl mit unterschiedlichen Wandstärken und Spaltmaßen für Unterkonstruktionen von Sitz- und Schaltsystemen (**Bild 6**). Minimierung von Verzug und Nacharbeit.

Lösungsansätze: Vor Ort beim Endanwender wurde von Lorch Anwendungstechnikern der Ansatz verfolgt, mit einer Kombination von verschiedenen Maßnahmen und unter Verwendung mehrerer Prozessregelvarianten, je nach örtlichen Bauteilanforderungen und flexibel umgeschaltet von der Roboter-Steuerung, die geforderte Steigerung der Fertigungseffizienz zu erreichen. Es erfolgte eine Einsparung von Füllnähten durch Prozessregelvarianten mit hoher Spaltüberbrückungsfähigkeit bei dennoch ausreichendem Einbrandprofil (modifizierter Kurzlichtbogenprozess SpeedRoot). Eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Minderung des Wärmeverzugs war durch Einsatz eines modifizierten Sprühlichtbogens (SpeedArc) möglich. Insgesamt wurde die Nacharbeit minimiert durch optimale Abstimmung der Prozessparameter auf die jeweilige Schweißnaht.

Ergebnisse: Die geforderten Verbesserungen wurden durch die genannten Kombinationen von Maßnahmen erreicht. So konnte die Schweißgeschwindigkeit einzelner Nahtsegmente von 48cm/min auf bis zu 84cm/min gesteigert werden. Auch Verzug und Nacharbeit (Schweißspritzer) konnten deutlich reduziert werden, **Bild 7**, **Bild 8**.



Bild 6. Moderne Unterkonstruktion einer Sitzbank

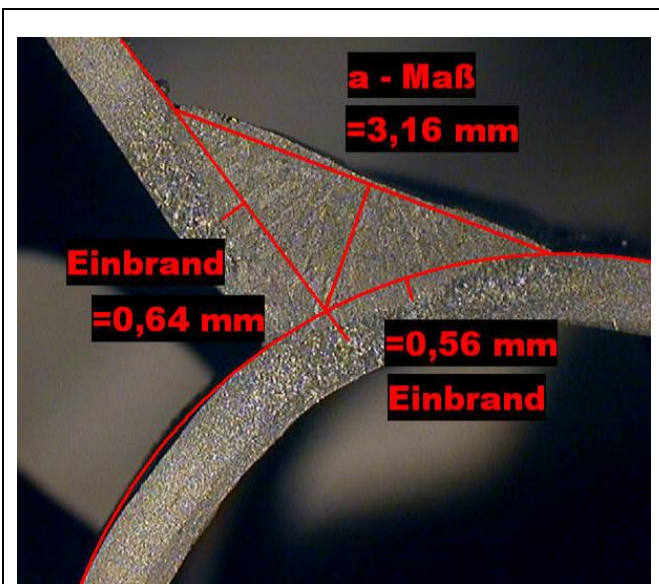


Bild 7. Schliffbild einer Rohr-Blech-Verbindung



Bild 8. Rohr-Rohr-Verbindung an der Sitzgarnitur

Tabelle 3. Effizienzaspekte vom Anwendungsbeispiel Sitz- und Schaltsysteme für Automobilindustrie

Effizienzaspekte	Lösungsbestandteile
Kostenreduktion	Einsparung Produktionszeit, Vermeidung von Fehlern und Nacharbeit
Absicherung von Prozess- und Verarbeitungsfenstern	Verwendung von besonderen Prozessregelvarianten, Nutzung der engen Koppelung von Roboter-Steuerung und Schweißstromquelle zur schnellen Umschaltung von Prozessregelvarianten und deren Parametern
Auswahl des Lichtbogentyps	Modifizierter Kurzlichtbogen (SpeedRoot), Modifizierter Sprühlichtbogen (SpeedArc)
Schweißnahtvorbereitung	I-Stöße in unterschiedlichen Schweißpositionen
Grad der Mechanisierung	Vollautomatisiert
Energieeffizienz	geringerer elektrischer Energieaufwand durch Einsparung von Füllnähten

5 Anwendungsbeispiel: Flansch-Rohr-Verbindungen

Aufgabe: Erhöhung der Effizienz bei mechanisierten Schweißungen von dickwandigen Flansch-Rohr-Verbindungen in Stahl- und Mischverbindungen (**Bild 9**).



Bild 9. Ansicht einer Absorptions-Trocknungsanlage mit vielfältigen Flansch-Rohr-Verbindungen

Lösungsansätze:

Ersatz des bisher verwendeten WIG-Schweißverfahrens für die Wurzelschweißungen durch eine Prozessregelvariante des modifizierten Kurzlichtbogens (SpeedRoot) mit sehr guter Spaltüberbrückung. Effizienteres Schweißen der Decklagen durch Verwendung eines modifizierten Impulslichtbogens (SpeedPulse). Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit und Anpassung der Steuerparameter am Drehtisch, Anpassung und Optimierung der Schweißparameter.

Ergebnisse:

Trotz Ersatz des WIG-Schweißverfahrens durch die MSG-Schweißung der Nahtwurzel (**Bild 10**) können weiterhin Spaltbreiten bis zu 10mm problemlos überbrückt werden. Für die Nahtwurzel konnte die Schweißgeschwindigkeit verdreifacht werden gegenüber WIG. Die Geometrie der MSG-Nahtwurzel erlaubte zudem die Einsparung der Gegenlage. Die Kombination mit dem modifizierten Impulslichtbogen erlaubte die Einsparung einer Zwischenlage. Die reine Schweißzeit einer vollständigen Flansch-Rohr-Verbindung (**Bild 11**) konnte so von 12 Minuten auf 8 Minuten gesenkt werden.



Bild 10. Ansicht von MSG-Wurzelnaht



Bild 11. Ansicht von MSG-Decknaht



Bild 12. Einschweißte Rohrflansche an einem Behälter einer Absorptions-Trocknungsanlage

Tabelle 4. Effizienzaspekte vom Anwendungsbeispiel Flansch-Rohr-Verbindungen

Effizienzaspekte	Lösungsbestandteile
Kostenreduktion	Einsparung Produktionszeit
Auswahl des Lichtbogentyps	Modifizierter Kurzlichtbogen (SpeedRoot), Modifizierter Impulslichtbogen (SpeedPulse)
Schweißnahtvorbereitung	V/Y-Nahtvorbereitung
Grad der Mechanisierung	teilmechanisiert / manuell
Energieeffizienz	geringerer elektrischer Energieaufwand durch: <ul style="list-style-type: none"> - Ersatz der zeitlich längeren WIG-Schweißung durch MSG - Einsparung einer Gegenlage - Einsparung einer Füllnaht

7 Zusammenfassung

Es wird deutlich, dass effizienzsteigernde Wirkungen bei konkreten Einsatzfällen mit der richtigen Anpassung der schweißtechnischen Möglichkeiten an die Aufgaben und Rahmenbedingungen einhergehen. Hierzu dienen die gegebenen konkreten Anwendungsbeispiele als Anregung. Sie sind übertragbar auf ähnliche Anwendungsfälle.

Die Anwendungszentren von Lorch (**Bild 13**) stehen zur Verfügung, um in enger Abstimmung mit Endanwendern schweißtechnische Lösungen zu entwickeln, Muster und Proben zu schweißen und bei der erfolgreichen Fertigungseinführung zu unterstützen.



Bild 13. Lorch Anwendungszentrum Auenwald

Anwendungszentrum Auenwald
Lorch Application Center
Im Anwänder 24-26
71549 Auenwald
lac@lorch.eu
+49(0)7191 503 0

Anwendungszentrum Bottrop-Kirchhellen
Lorch Application Center Hild-Löbbecke GmbH
Heinrich-Hertz-Str. 1
46277 Bottrop-Kirchhellen
fijatschko@hild-loebbecke.de
+49(0)2045 404018

Schrifttum

- [1] B. Jaeschke, W. Ernst, M. Luritzhofer: Verringerung von Fehlern bei der werkstoffspezifischen Bestimmung von Streckenenergie und Wärmeeinbringung moderner Lichtbogenschweißprozesse. DVS-Berichte zum DVS Congress 2013. DVS Media, Düsseldorf 2013.
- [2] Merkblatt DVS 0973 „Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens“, DVS-Media; auch veröffentlicht in Schweißen und Schneiden 66 (2014), Heft 9, S. 538 ff., DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [3] Merkblatt DVS 0973-2 „Nahtvorbereitung in Anlehnung an die DIN EN ISO 9692-1“ (Entwurf, Stand Mai 2017).
- [4] F. Höcker, S. Huth, A. Dutschmann: Automatisierung von kleinen und mittleren Schweißaufgaben. GST2008, DVS-Berichte Band 250, S. 122 ff. DVS-Media, Düsseldorf 2008.
- [5] B. Jaeschke, B. Fritz: Eigenschaften, Anwendungen und Weiterentwicklungen der modernen Lichtbogenschweißtechnik zur systematischen Automation von Schweißaufgaben. DVS-Berichte Band 286, DVS Congress 2012, S. 162 ff. DVS Media, Düsseldorf 2012.
- [6] Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (OJ L 315, 14.11.2012, p. 1).
- [7] B. Jaeschke, A. Rimböck, K. Vollrath: Steignähte leicht und sicher Schweißen. Der Praktiker 5/2011, S. 190 ff. DVS Media, Düsseldorf 2011.
- [8] B. Jaeschke: Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Metall-Schutzgasschweißens durch moderne Schweißgerätesysteme. Jahrbuch Schweißtechnik 2013, ISBN 978-3-87155-609-8, ISSN 0935-0292, S. 179 ff. DVS Media, Düsseldorf 2012.