



Abb. 1: Großraum-Dampfkessel in einem Industrieunternehmen

Werkfoto: LOOS

Dampfkesselanlagen unterliegen einer Reihe von Belastungen, die zu einer mehr oder minder starken Beanspruchung des Kesselkörpers führen. Hierbei sind neben unzureichender Wasserqualität zwei Hauptfaktoren maßgeblich: Einflüsse durch Auslegung und Einstellung sowie Einflüsse von Verbraucherseite. Der folgende Beitrag beschreibt die vermeidbaren Belastungen für Kesselanlagen und ermöglicht dem Leser einen Einblick in die ordnungsgemäße Planung, Ausführung und Einstellung bis hin zum Betrieb der Anlagen.

Großwasserraum-Dampfkessel

Vermeidbare Belastungen durch sorgfältige Planung

Dipl.-Ing. Paul Köberlein, Technischer Leiter

Sattdampf wird heute als Wärmeträgermedium in einer Vielzahl von gewerblichen und industriellen Unternehmen aller Branchen verwendet. In der Nahrungsmittel- sowie Getränkeindustrie werden Aufheiz-, Koch- aber auch Reinigungsprozesse unterstützt. Die Textilbranche nutzt den Wärmeträger vor allem zur Weiterverarbeitung und Veredelung von Stoffen.

Wäschereien und Textilreinigungen beheizen Waschmaschinen oder nutzen den Dampf für Glättungs- und Trocknungsvorgänge. In Krankenhäusern werden mit Reinstampf Operationsbestecke sterilisiert, eine angeschlossene Großküche versorgt oder der Dampf für die Luftbefeuchtung der Klimaanlage verwendet. Die

Baustoffindustrie benötigt Sattdampf für viele Prozess-, Heiz- und Trocknungsvorgänge, wie zum Beispiel bei der Autoklavierung von Kalksandsteinen. Aber auch in vielen anderen Branchen, wie zum Beispiel der Papier- und Kartonagenindustrie, der chemischen Industrie, der Pharmaindustrie und in vielen weiteren Bereichen ist Dampf als Wärmeträger nicht mehr wegzudenken.

Der größte Anteil dieser Dampfanwendungen benötigt Sattdampf oder leicht überhitzten Dampf mit Leistungen bis zu 200 t/h, Drücken bis 30 bar und Dampftemperaturen bis 300 °C. Zur Dampferzeugung werden üblicherweise ein oder mehrere gas-/ölbefeuerte Dampfkessel

in der Konstruktion als Großraumkessel eingesetzt, Abb. 1. Im Vergleich zu Wasserrohr-Kesselsystemen sind diese in der angesprochenen Leistungsbandbreite meist die bessere Alternative, weil sie in Anschaffung und Betrieb kostengünstiger sind.

Der Betrieb von modernen Großraum-Dampfkesselanlagen ist als unproblematisch zu betrachten. Dennoch unterliegen die Kessel oft einer Reihe von eigentlich vermeidbaren Belastungen, die einen entscheidenden Einfluss auf Sicherheit und Lebensdauer der Energieerzeuger haben. Hierbei sind neben unzureichender Wasserqualität zwei Hauptfaktoren maßgeblich: Einflüsse durch Auslegung und Einstellung sowie Einflüsse von Verbraucherseite.

1. Unzureichende Wasserqualität

Unzureichende Wasserqualität mit der Folge von Korrosionen beziehungsweise Belagbildungen steht an erster Stelle in den Schadensstatistiken. Die bei dieser Schadensart ablaufenden Mechanismen gelten als allgemein bekannt, es wird daher in diesem Fachartikel nicht näher darauf eingegangen. Häufig können als Ursachen für eine „schlechte“ Wasserqualität folgende Punkte genannt werden:

- ▶ Unzureichende Überwachung beziehungsweise Prüfung der erforderlichen Wasserparameter, Abb.2
- ▶ Mangelnde Fachkenntnis
- ▶ Fehlinterpretation von Messwerten beziehungsweise keine Reaktion bei Abweichungen

Zur Vermeidung von Schäden durch unzureichende Wasserqualität ist in erster Linie die Einhaltung der vom Kesselhersteller vorgegebenen Wasserwerte (entsprechend EN 12953 Teil 10) erforderlich. Hierzu muss, neben dem Einsatz geeigneter Wasseraufbereitungskomponenten, auch für ausreichende Kompetenz im Bereich Wasseranalyse gesorgt werden. Empfohlen wird, vollautomatische Analysegeräte zu installieren, die alle Wasserparameter wie Härte, Leitfähigkeit, pH-Wert und Kondensatreinheit erfassen und überwachen, Abb.3. Siehe auch Fachartikel „Wasseraufbereitung für industrielle Kesselsysteme“,

FACH.JOURNAL, Ausgabe 2005/2006, S.72 – 76 oder www.ihks-fachjournal.de.

2. Einflüsse durch Auslegung und Einstellung

2.1 Zu große Kesselleistung im Verhältnis zur tatsächlich benötigten Dampfleistung

Diese Problematik ist oft in Altanlagen zu finden, deren Dampfverbrauch durch den Wegfall von Verbrauchern oder der nachträglichen Nutzung vorhandener Potentiale zur Wärmerückgewinnung drastisch reduziert wurde. Aber auch Neuanlagen können betroffen sein, wenn während der Planung die Gleichzeitigkeitsfaktoren der Verbraucher falsch bewertet wurden oder mit allzu üppigen Leistungsreserven kalkuliert wurde. Die Folge einer in Bezug auf die Kesselleistung zu geringen Dampfabnahme ist eine hohe Anzahl von Brennerrein- und -ausschaltungen. Dadurch werden Temperaturwechsel verursacht, die insbesondere bei Kesselanlagen mit Gasfeuerung und langen Vorlufzeiten extrem sein können.

Brenner erzeugen im Feuerraum Temperaturen zwischen 1.400 und 1.700 °C. Während der Phase der Feuerraumvorlufung, welche vor jedem Zündvorgang des Brenners vorgeschrieben ist, wird Frischluft aus dem Kesselhaus angesaugt. Durch die niedrigen Lufttemperaturen von 20 bis 30 °C findet eine Kühlung der vorher heißen



Abb.2: Folgen einer mangelhaften Härteüberwachung

BEHNCKE®
GmbH

Wärmstens zu empfehlen...

Hochwertige Wärmetauscher aus dem Hause BEHNCKE®

UV-matic

FORMULA 2000

KstW 200

QWT 100

EWT 95-15

Plattenwärmetauscher

GIGANT GWT 2000

BEHNCKE® GmbH
Abteilung Industrietechnik
Michael-Haslbeck-Straße 13
D-85640 Putzbrunn / München
Phone +49 (0) 89.45 69 17-31
Fax +49 (0) 89.45 69 17-61
norbert_allletter@behncke.com
www.behncke-gmbh.de

Heizflächen statt. Anschließend zündet der Brenner und bekommt meist sehr schnell das Signal, in die höchste Laststufe zu fahren. In extremen Schwachlastphasen wird er sehr häufig schon während des Hochlaufens wieder abgeschaltet, um oft kurz danach erneut vorzulüften und zu zünden.

Durch diese dauernde Temperaturwechsel-Beanspruchung zwischen Auf-

2.2 Zu geringe Druckdifferenz zwischen Brennein- und ausschaltung

Die Leistungsregelung des Dampfkessels erfolgt bekanntermaßen über den im Kessel gemessenen Dampfdruck. Wird der einstellbare Dampfdruck $P_{\text{Brenner.ein}}$ unterschritten, erfolgt eine Brenneranforderung, bei Überschreitung $P_{\text{Brenner.aus}}$ eine Abschaltung des Brenners.

2.3 Zu „schnell“ eingestellte Leistungsregler

Moderne Feuerungsmanager haben die Möglichkeit, die Brennerstellzeit, das heißt die Laufzeit zwischen Brennerkleinlast- und -großlaststellung, variabel einzugeben. Gleichzeitig kann über die Regelparameter im Leistungsregler die Reaktionsgeschwindigkeit des Brenners auf Sollwertabweichungen beeinflusst werden. Großraumkessel mit ihrem hohen Materialanteil und großen Wasserinhalt sind ein vergleichsweise träge reagierendes System. Zu „schnell“ eingestellte Leistungsregler, eventuell im Verbund mit sehr kurz eingestellten Brennerstellzeiten, führen zu schnell steigendem Wärmeeintrag im Flammrohr. Für den Abtransport dieses Wärmeeintrags sind auf der Wasserseite vor allem die sich bildenden und in den Dampfraum hochsteigenden Dampfblasen zuständig, Abb.4. Diese Dampfblasenbildung erfolgt aber zeitlich leicht versetzt. Die Folgen sind kurzzeitige, örtliche Überhitzungen und zusätzliche Beanspruchungen durch Temperaturwechsel, die langfristig eine Materialermüdung im Bereich der beheizten Kesselwandung beschleunigen.

Eine Inbetriebnahme mit Einstellung von Feuerungen und Regelverhalten durch Fachpersonal ist dringend zu empfehlen.

2.4 Fehlendes Folgesteuerungskonzept bei Mehrkesselanlagen

Werden Mehrkesselanlagen nicht mit einer automatischen Folgesteuerung ausgerüstet, kommt der Bedienungsmannschaft große Bedeutung zu. Sie muss Kessel abschalten, wenn die Leistungsabnahme den Betrieb mehrerer Kessel nicht mehr rechtfertigt. Geschieht dies nicht, sind die Folgen beispielhaft in Abb.5 dargestellt. Die Aufzeichnung zeigt, dass über den gesamten Zeitraum der erforderliche Dampfbedarf (blau) alleine von Kessel 1 (rot, mit einer Leistung von 10 t/h) abgedeckt werden kann. Die häufigen Zuschaltungen von Kessel 2 (grün) mit den bereits unter 2.1 erwähnten Beanspruchungen durch Temperaturwechsel sind somit völlig überflüssig.

Weiterhin lässt sich die gegenseitige Beeinflussung der beiden Kessel erkennen. Während Kessel 1 (rot) seine Leistung re-



Abb.3: Moderne Dampfkesselanlage mit vollautomatischer Wasseranalyse und Überwachung
Grafik: LOOS

heizen und Durchlüften kommt es zu Dehnungsunterschieden zwischen Feuerraum und Kesselmantel, welche im Laufe der Zeit zu Materialermüdung führen können. Neben steigender Schadensanfälligkeit hat diese Betriebsweise auch einen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, da jeder Vorlüftvorgang einen nicht unerheblichen Wärmeverlust darstellt. Daher sind Brenneinschaltzyklen ≤ 4 je Stunde anzustreben. Um dies zu erreichen, empfiehlt sich

- ▶ der Einbau von Schwachlaststeuerungen, die das sofortige Hochregeln nach Brennerstart zeitlich verzögern.
- ▶ der Einsatz von Leistungsreglern, die ermöglichen, den Brenner zeitlich unbegrenzt in der Kleinlaststufe festzuhalten.
- ▶ der Einsatz von Brennern mit hohem Regelbereich.
- ▶ die Anpassung der Brennerleistung an die tatsächlichen Anforderungen (das heißt Brennermodifikationen oder auch Anbau eines Brenners mit kleinerem Leistungsbereich).

Eine zu gering eingestellte Spreizung zwischen $P_{\text{Brenner.ein}}$ und $P_{\text{Brenner.aus}}$ hat folgende Konsequenzen:

- ▶ Häufiges Ein- und Ausschalten durch Überschwingen des Druckes und damit zu den unter 2.1.beschriebenen Temperaturwechsel-Beanspruchungen und deren negativen Folgen
- ▶ Zwangsweise „scharf“ eingestellte Regelparameter im Leistungsregler, um den Sollwert im engen Regelband zu halten. Das Ergebnis ist neben einem hohen Verschleiß an den Stellgliedern im Brenner eine vorzeitige Materialermüdung der beheizten Wandungen (siehe auch 2.3)

Die Erfahrung hat gezeigt, dass mit einer eingestellten Spreizung von 10 bis 15 % zwischen $P_{\text{Brenner.ein}}$ und $P_{\text{Brenner.aus}}$ (abhängig von der Brennerregelung und dem Kesselbetriebsdruck) bezogen auf den Kesselabsicherungsdruck, diese Probleme sicher vermieden werden.

Hier wird viel **gespart**.
Wir wissen
wie viel.



EnergieManagement

EnergieTechnik

Insbesondere in komplexen Gebäuden sind eine exakte Verbrauchserfassung und eine zuverlässige Energie- und Betriebskostenabrechnung wirtschaftlich notwendig. Deshalb vertraut sowohl die private als auch die gewerbliche Wohnungswirtschaft auf unsere zuverlässige Gerätetechnologie und unsere innovativen Dienstleistungskonzepte - in rund 1,3 Millionen Nutzeinheiten bundesweit. Mehr erfahren Sie unter 0711/9491-1404 und unter www.minol.com

Minol
Alles, was zählt.

duziert, erhöht Kessel 2 (grün) die Dampfproduktion und umgekehrt, das heißt die Kessel arbeiten „gegeneinander“ und drücken sich wechselweise ab. Der ungehinderte Wärmeabtransport von den Heizflächen kann nicht mehr garantiert werden.

Ein Folgesteuerungskonzept ist daher bereits für Kesselanlagen mit zwei Dampferzeugern anzuraten und zwingend erforderlich bei drei oder mehr Kesseln in einem Kesselhaus.

Welche Art der Folgesteuerung (mengen- oder druckabhängige Zu- und Abschaltung der Kessel) zum Einsatz kommt, ist zum einen von der Kesselanzahl und zum anderen davon abhängig, welche Druckschwankungen auf Verbraucherseite akzeptiert werden können. Mit dampfmengenabhängigen Folgesteuerungen kann die realisierbare Bandbreite der Druckschwankungen deutlich niedriger gehalten werden. Zu beachten ist auch:

- ▶ Dampferzeuger in Mehrkesselanlagen müssen hydraulisch voneinander entkoppelt werden, um gegenseitige Beeinflussung zu unterbinden (zum Beispiel durch Rückschlagarmaturen)
- ▶ Bereits in der Planung sollte berücksichtigt werden, dass Folgekessel mit einer Bodenheizschlange ausgerüstet werden, um Temperaturschichtungen des Kesselwassers während der Warmhaltephase zu vermeiden. Siehe hierzu auch Punkt 3.2.

3. Einflüsse von Verbraucherseite

3.1 Häufiges Anfahren aus kaltem Zustand

Das Anfahren aus dem kalten Zustand stellt die größte mechanische Belastung für den Kesselkörper dar. Grund ist der größere Temperaturunterschied zwischen Flammrohr und Kesselmantel beim Kaltstart, im Vergleich zum Regelbetrieb bei

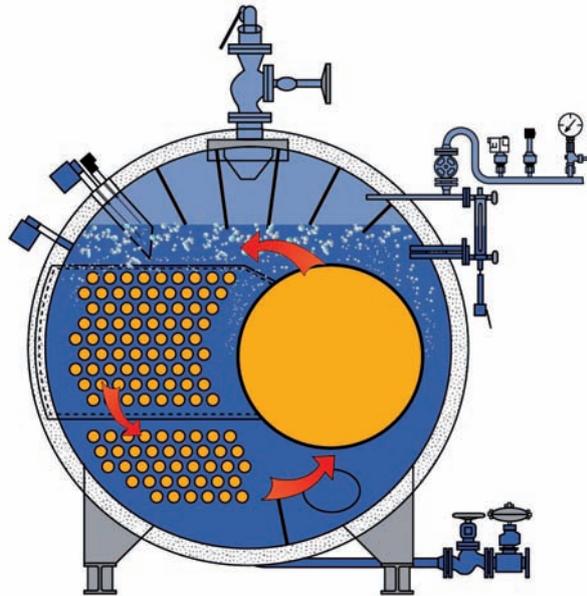


Abb. 4: Schematische Darstellung des Wärmeabtransports durch Dampfblasenbildung

Betriebstemperatur. Der Flammrohrschub (Differenz zwischen Längenänderung Kesselmantel und Flammrohr) ist während des Anfahrprozesses höher und führt damit zu erheblichen zusätzlichen Spannungen, die der Kesselkörper bewältigen muss. Verstärkt wird diese Belastung noch, wenn während der Anfahrprozedur keine oder nur eine sehr geringe Dampfblasenbildung stattfinden kann, was zum Beispiel bei geschlossener Dampfantnahmemarmatur der Fall ist. Der im Dampfkessel normal vorhandene Naturumlauf, Abb. 4, springt nicht an. Temperaturschichtungen im Kessel (unten

kalt, oben heiß) mit zusätzlichen Wärmespannungen sind die Folge. Bei sehr häufigen Kaltstarts können diese extremen Wechselbelastungen zu Materialanrissen, beziehungsweise im schlimmsten Falle zu einem Komplettversagen führen.

Zur Reduzierung der Anfahrbelastung ist zu beachten:

- ▶ Anfahren aus dem kalten Zustand bis auf Betriebstemperatur mit möglichst kleiner Brennerlast
- ▶ Während des Anfahrvorgangs sollte ständig eine geringe Menge Dampf abströmen können, um den Naturumlauf durch Dampfblasenauftrieb zu starten.
- ▶ Ideal wäre eine Ausrüstung mit automatischer Anfahrerschaltung, die in Abhängigkeit von Wassertemperatur und Druck den Brennerbetrieb und die Lastabnahme so regelt, dass die Belastungen auf ein niedriges Niveau reduziert werden.

3.2 Lange Zeiträume in Stand-by-Betrieb

Während des Warmhalte- oder Stand-by-Betriebes (zum Beispiel im Mehrkesselbetrieb, wenn der Folgekessel nicht benötigt wird) ist bei diesem Kessel jegliche Dampf- abgabe unterbunden. Je nach Steuerungskonzept wird hierzu entweder die Dampfantnahmemarmatur geschlossen oder der Folgekessel auf einen geringeren Druck als der herrschende Netzdruck gefahren. Die

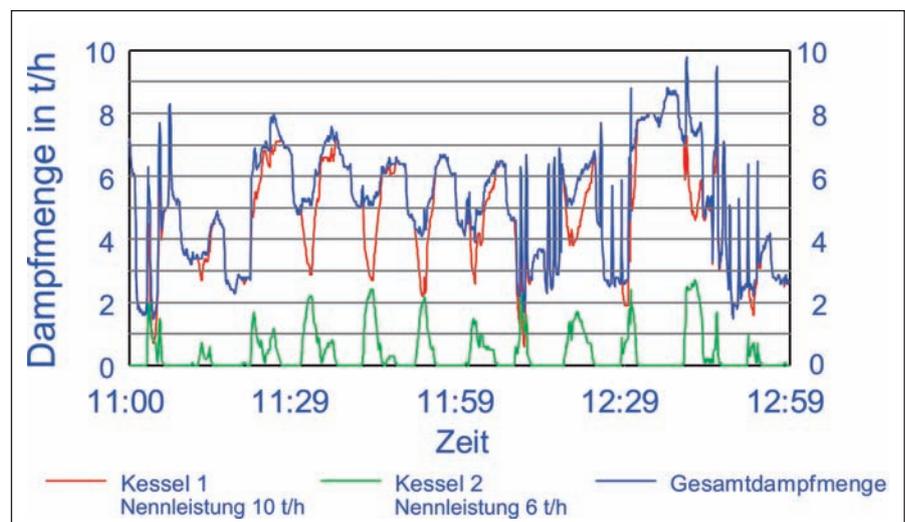


Abb 5: Aufzeichnung der Dampfleistung in einer Kesselanlage mit 2 Dampferzeugern ohne Folgesteuerungskonzept

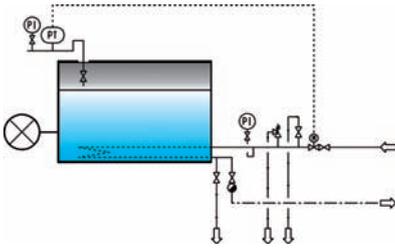


Abb.6: Schematische Darstellung einer geregelten Bodenheizschlange

Feuerungen schalten in dieser Betriebsart nur noch sporadisch zu, um Verluste durch Wärmeleitung und -strahlung auszugleichen. Wird dieser Zustand über einen längeren Zeitraum (> 3 Tage) aufrechterhalten, beginnt sich im Kessel eine Temperaturschichtung einzustellen. Werden derart warmgehaltene Kessel wieder in den Normalbetrieb geschaltet, täuscht der hohe Betriebsdruck (heißer oberer Bereich) einen sofort verfügbaren Kessel vor. Die Kesselsteuerung wird diesen dann bei entsprechendem Bedarf in sehr kurzer Zeit mit hoher Brennerlast beaufschlagen. Bedingt durch die Temperaturschichtungen im Kessel treten dann, wie bereits unter 3.1 beschrieben, extreme Wärmespannungsbelastungen auf.

Abhilfe kann durch Einbau von Warmhalteheizschlangen, Abb. 6, im Kesselboden geschaffen werden. Die Dampfbeheizung dieser Heizschlange erfolgt von unten, wodurch schädigende Temperaturschichtungen im Kessel sicher vermieden werden. Damit diese Lösungsvariante eingesetzt werden kann, ist jedoch eine Mehrkesselanlage beziehungsweise eine sichere Fremddampfversorgung notwendig.

3.3 Druckschwankungen durch starke Abnahmeschwankungen

Bei hohen Laständerungs-Geschwindigkeiten und damit einhergehend starken Druckschwankungen, können im Kessel ungünstige Strömungszustände eintreten. Die für Abfuhr der Wärme von den Heizflächen erforderliche Dampfblasenbildung kann stagnieren, bzw. zur Verbindung vieler kleiner Blasen zu größeren Dampfblasen führen, welche sich nicht sofort von den Heizflächen ablösen und damit örtliche Überhitzungen begünstigen. Aus diesem Grund sollten bei Kesselanlagen, welche Verbraucher mit extrem schwankender Lastabnahme versorgen, besondere Vorkehrungen getroffen werden, um im Kessel die Druckschwankungen unabhängig von der Verbraucherseite zu begrenzen. Erreicht werden kann dies zum Beispiel durch:

- ▶ Druckseitig höhere Kesselabsicherung und Einbindung einer Reduzierstation zwischen Kessel und Verbraucher
- ▶ Einbindung eines Dampfspeichers für Lastspitzen
- ▶ Eine dem Kessel nachgeschaltete Druckhaltung mit geregelter Dampfnahmeventil, um den Kessel vor zu starkem Druckabfall zu schützen

4. Zusammenfassung

Die genannten vermeidbaren Ursachen für Kesselbelastungen zeigen auf, dass es sich hier um einen komplexen Themenkreis handelt. Dieser erstreckt sich von der Planung über die Ausführung und Einstellung bis hin zum Betrieb der Anlagen. Eine abschlie-

ßende Erörterung aller relevanten Probleme ist hier nicht möglich. Aufgrund der Sachkomplexität von Dampfkesselanlagen sollten folgende Punkte unbedingt beachtet werden:

- ▶ Planung von Dampfkesselanlagen sollte nur von versierten und erfahrenen Fachfirmen durchgeführt werden, da viele der möglichen Fehlerquellen bereits im Vorfeld vermieden werden können.
- ▶ Qualität der eingesetzten Kessel, Brenner und Kesselanlagen-Komponenten spielt eine entscheidende Rolle für einen reibungslosen und störungsfreien Betrieb der Anlage.
- ▶ Korrekte Installation der Anlage erfordert einen kompetenten Anlagenbauer mit Kenntnis über das Zusammenspiel der verschiedenen Kesselhaus-Komponenten.
- ▶ Betriebsweise und Betreuung durch das Bedienungspersonal haben große Bedeutung und wirken sich entscheidend auf die Lebensdauer der Dampfkesselanlage aus.
- ▶ Von erheblichem Vorteil ist immer ein Wartungs- und Teleservicevertrag mit dem Kesselhersteller.

Autor

Dipl.-Ing. Paul Köberlein, Technischer Leiter
LOOS INTERNATIONAL, Gunzenhausen

Fotos und Grafiken: LOOS

www.loos.de

JUMO heatTHERM-AT

Erster Aufbauthermostat mit „Push-In®“-Klemmtechnik



„Push-In®“-Klemmtechnik; patentierte Anschlussstechnik der Weidmüller GmbH & Co. KG, Daimold.

JUMO

<http://A48.jumo.info>
E-Mail: mail@jumo.net
Telefon: +49 661 6003-9748

60.004-4.1.1.1.

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne