

# Energie sparen ohne Komforteinbuße

Durch den Abbau des Verschwendungspotenzials lässt sich in einem Gebäude Heizenergie einsparen

In der aktuellen Diskussion zur CO<sub>2</sub>-Einsparung rückt die Beheizung von Bestandsgebäuden zunehmend in den Blickpunkt. Schon mit verbesserten Anlageneinstellungen lassen sich beachtliche Einsparungen erzielen. In diesem Zusammenhang wird vom Abbau des Verschwendungspotenzials gesprochen. Hier liegen neue Geschäftsfelder für Fachleute in der Heizungstechnik.

## Einsparung durch vermiedene Verschwendung

Das Verschwendungspotenzial geht aus einem Vergleich zwischen Betriebs- und Bedarfswerten der Temperaturen und Durchflüssen hervor. Es bildet die maximale Verschwendung, die eine Anlage zulässt, und zeigt, wo sich Optimierungen besonders lohnen.

In [1] werden Berechnungsformeln für das Verschwendungspotenzial angegeben. Solche Rechnungen sind etwas anderes als die Bedarfsermittlungen und Wirtschaftlichkeitsrechnungen, die man schon kennt. Sie fallen in ein Gebiet der Heizungstechnik, das heute noch wenig erforscht ist.

Bild 1 zeigt die übliche Bedarfsermittlung anhand eines Energieflussbilds nach DIN V 4701-10 [2], einer Norm für Wohngebäude. Ausgehend von einer Temperatur  $t_i$

und einem Luftwechsel  $\beta$  in der beheizten Zone wird ein Endenergiebedarf  $Q_H$  berechnet, der auch die Anlagenverluste  $Q_g$ ,  $Q_s$ ,  $Q_d$  und  $Q_{ce}$  enthält. Mit den Rechenformeln, Diagrammen und Tabellen aus DIN V 4701-10 kann man z. B. nachweisen, dass die Anlage mit einer Wärmepumpe einen niedrigeren Bedarf hätte als mit dem gezeigten Kessel. Aber das hat nichts mit der Einstellung der Anlage zu tun. Sie wird in DIN V 4701-10 als optimal vorausgesetzt.

Bild 2 zeigt ein aus Bild 1 abgeleitetes Schema, in dem diese Voraussetzung fallen gelassen wird. Auch der Nutzer erscheint hier nicht mehr nur als bedarfsgebend, sondern als wichtiger Akteur, der mit seinen Handlungen maßgeblich über den Energieverbrauch bzw. die Energieverschwendung entscheidet. Die Bedarfswerte aus Bild 1 tragen nun den Index 0 und die im Betrieb dazukommenden Werte das Präfix  $\Delta$ . So ist beispielsweise  $t_i = t_{i0} + \Delta t_i$  die Temperatur, die die Nutzer im zeitlichen und räumlichen Mittel herbeiführen.  $\beta = \beta_0 + \Delta\beta$  ist der Luftwechsel, der sich im Mittel aus den Nutzerhandlungen ergibt.

Für die Erhöhungen  $\Delta t_i$  und  $\Delta\beta$  übergibt die Anlage eine zusätzliche Heizwärme  $\Delta Q_h$  an die beheizte Zone. Damit sie das kann, wird üblicherweise die Heizkurve überzogen. Das ist mit zusätzlichen Anlagenverlusten  $\Delta Q_g$ ,  $\Delta Q_s$ ,  $\Delta Q_d$  und  $\Delta Q_{ce}$  verbunden und verschlechtert so auch noch die Effizienz.

Aber den Löwenanteil der zusätzlichen Heizenergie macht bereits die verschwendete Heizwärme  $\Delta Q_h$  aus. Man sieht das auch im Bild. Um prozentuale Werte zu bekommen, kann man  $\Delta Q_h$  auf den Bedarf beziehen und erhält so die Verschwendung von Heizwärme ( $w$  für waste) in der Form

$$(1) w_Q = \frac{\Delta Q_h}{Q_{h0}}$$

Über einen interessierenden Zeitraum hinweg, das ist vor allem die Heizperiode, ergibt sich eine effektive Verschwen-

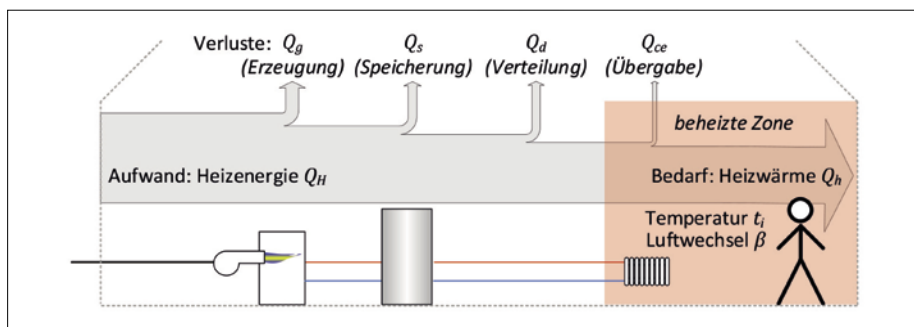


Bild 1: Energiebedarf einer Heizungsanlage gemäß DIN V 4701-10.

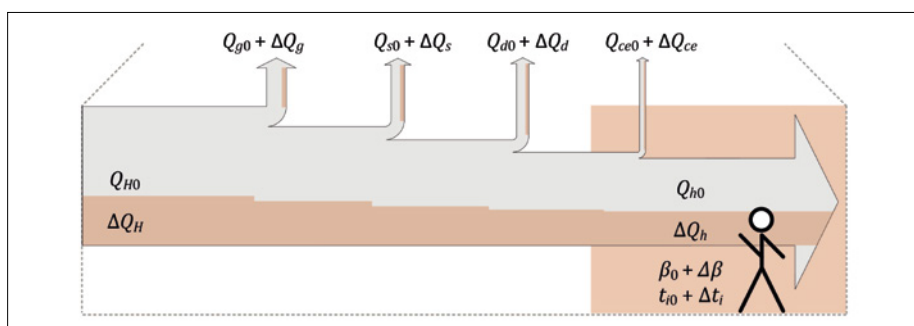


Bild 2: Energiefluss bei Verschwendung.

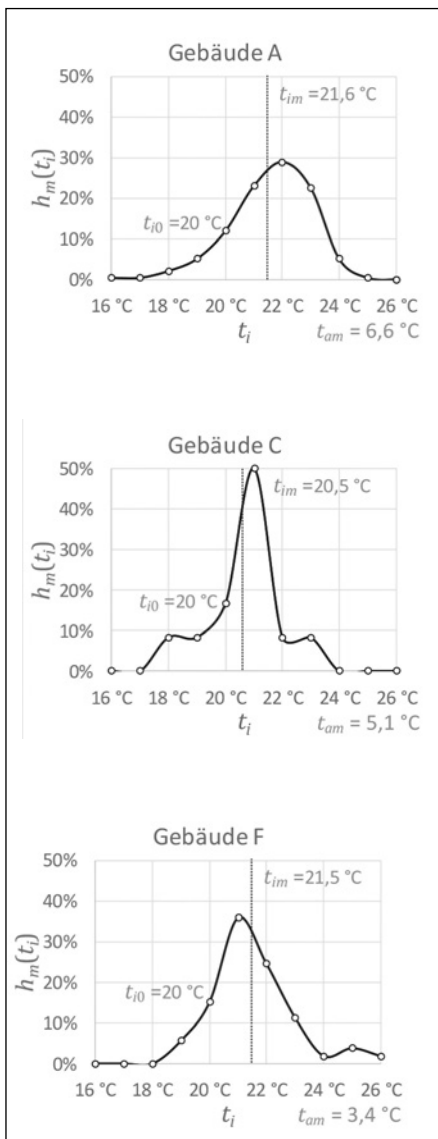


Bild 3: Raumtemperaturprofile Beuth Hochschule 2013/2014 und 2014/15.

dung  $w_{Qm}$ , die den Ausgangspunkt für Einsparmaßnahmen bildet. Wird sie auf einen Wert reduziert, ist die Einsparung

$$(2) s_Q = \frac{w_{Qm} - w_{Qm}^*}{1 + w_{Qm}}$$

Wurde die effektive Verschwendung z. B. von  $w_{Qm} = 25\%$  auf  $w_{Qm}^* = 0$  reduziert, ist  $s_Q = 20\%$ . In der Praxis können Verschwendungen schlecht bis auf null reduziert werden. Bild 3 zeigt dazu Temperaturverteilungen in drei Gebäuden der Berliner Beuth Hochschule, die nach Ablauf eines 10-jährigen Contractings aufgenommen wurden, in dem 30% Heizenergie eingespart werden konnten.

Aus den Temperaturverteilungen leitet sich ab, dass bezogen auf  $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$  noch eine Verschwendung von  $w_{Qm}^* 12,5\%$  be-

stand. Angenommen, die Heizwärme wurde im gleichen Verhältnis  $s_Q = 30\%$  reduziert wie die Heizenergie, lag  $w_{Qm}$  vor den Einsparmaßnahmen bei 65%.

Um viel einzusparen, muss vorher viel verschwendet worden sein. Neben deutlichen Einsparungen in Wohnhäusern wird auch von Fällen berichtet, in denen keine Einsparung erzielt werden konnte [3] [4]. In öffentlichen Gebäuden sind Einsparungen von 30% dagegen keine Ausnahme. Wie aber kommen Ausgangslagen mit so hohen Verschwendungen zustande, dass 30% Heizenergie eingespart werden können, und warum können mit verbesserten Anlageneinstellungen solche hohe Einsparungen erzielt werden?

### Verschwendung durch Überhitzung und Überlüftung

Bei den Effekten, die zu zusätzlichen Energieverbräuchen führen, fällt der Blick zunächst auf die Überhitzung. Man kennt solche Rechnungen in der Art, dass 1 K Raumtemperaturerhöhung den Energieverbrauch um 6,7% erhöht. Dabei wird davon ausgegangen, dass  $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$  ist und  $t_a$  in der Heizperiode im Schnitt  $5^\circ\text{C}$  beträgt. Bezogen auf die Differenz  $t_{i0} - t_a$  macht  $\Delta t_i = 1\text{ K}$  dann 6,7% aus. Aber das ist nicht die Verschwendung, sondern nur die Überhitzung, gebildet als

$$(3) w_t = \frac{t_i - t_{i0}}{t_{i0} - t_a} = \frac{\Delta t_i}{t_{i0} - t_a}$$

Die Verschwendung aufgrund der Überhitzung ist

$$(4) w_{Qt} = \frac{w_t}{1 - \eta \gamma}$$

Darin sind  $\gamma$  das Gewinn-/Verlustverhältnis und  $\eta$  der Ausnutzungsgrad des Wärmegewinns. In Neubauten kann  $\eta \gamma$  über die Heizperiode hinweg bei 50% liegen. Dann ist  $w_{Qt}$  im genannten Beispiel nicht 6,7%, sondern 13,3%.

In Bestandsbauten liegt  $\eta \gamma$  wegen der höheren Verluste eher bei 20%. Damit müsste  $w_t$  nach Gleichung (4) bei  $w_{Qt} = 65\%$  über 80% betragen. Aber das ist nicht möglich. Angenommen,  $t_a$  ist im Mittel der Heizperiode  $5^\circ\text{C}$ , wäre die Raumtemperatur dann nämlich über  $32^\circ\text{C}$ .

Wenn man dagegen bei einer Begehung dauerhaft geöffnete Fenster sieht, weiß man, dass die Verschwendung hohe Werte erreicht. Zur Überhitzung  $w_t$  gesellt sich dann eine Überlüftung

$$(5) w_v = \frac{\Delta \beta}{\beta_0}$$

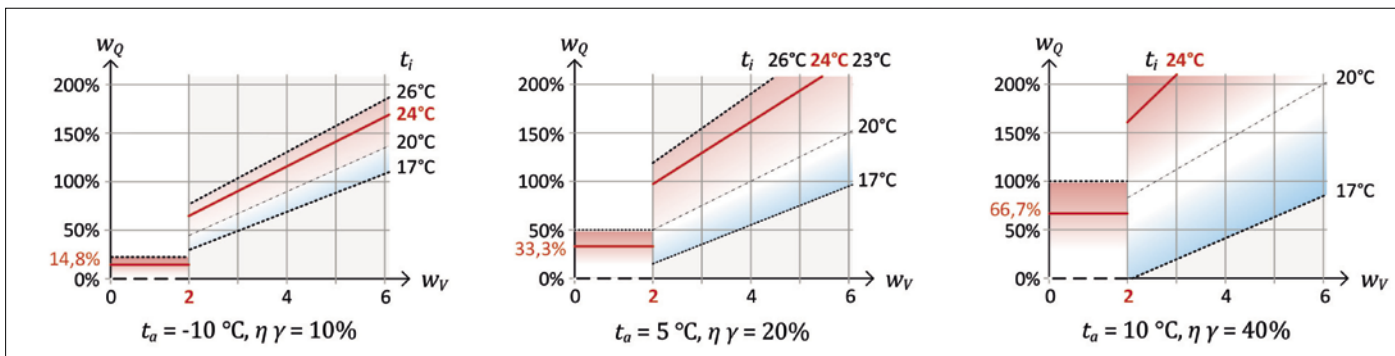


Bild 4: Verschwendungen bei  $b_v = 20\%$ .

Beträgt der Bedarfswert  $\beta_0$  des Luftwechsels z.B. 0,5/h, kann schon das erste gekippte Fenster dazu führen, dass sich der der Luftwechsel auf 1,5/h erhöht.  $\Delta\beta$  ist dann 1/h und  $w_V$  springt von 0 auf 2. In [1] wird gezeigt, welche Verschwendung sich aus Überhitzung und Überlüftung ergibt. Die Rechenformel ist

$$(6) w_Q = \frac{(1 + w_i)(1 + b_v w_V) - 1}{1 - \eta\gamma}$$

$b_v$  ist der Lüftungsanteil des Wärmeverlusts. Im Bestand liegt er bei 20%. Bild 4 zeigt für diesen Wert von  $b_v$  und verschiedene Witterungen, wie eine Verschwendung nach Gleichung (4) mit Temperaturen bis  $24^\circ\text{C}$  bei  $w_V = 2$  in eine Verschwendung nach Gleichung (6) übergeht.

Repräsentativ für die Heizperiode ist das mittlere Diagramm. Bei reiner Überhitzung auf  $24^\circ\text{C}$  ist  $w_{Qt} = 33,3\%$ . Wird dann das erste Fenster gekippt, springt die Verschwendung auf Werte zwischen 50% und 100%, je nachdem, wie weit dabei  $t_i$  zurückgeht, und steigt mit höherer Überlüftung drastisch an.

Die Gründe für den Griff zum Fenster sind vielfältig. Neben einer Lüfterneue-

rung, die in eine dauerhafte Fensteröffnung übergeht, kann es sich auch um eine kurzzeitige Überhitzung des Raums handeln, die die Überlüftung auslöst. Dafür gibt es typische Szenarien:

- Wenn in einem Büroraum die Temperatur als zu niedrig empfunden wird, etwa nach einer Absenkung, werden Hand- oder Thermostatventile häufig stark geöffnet. Anders als die Raumbeleuchtung lässt sich die Raumbeheizung dann aber nicht mehr zurückdrehen, wenn die Temperatur zu hoch ist.
- Wird ein Seminarraum betreten, kann die Personenwärmeabgabe auch dann zu einer Überhitzung, führen, wenn die Raumtemperaturregelung die Ventile schließt. Erst nach einiger Zeit würde sich der Raum wieder abkühlen, doch da sind die Fenster schon geöffnet. Aber warum können sie offenbleiben?

### Verschwendungspotenzial und effektive Verschwendung

Bild 5 zeigt für die Heizperiode eine gedachte Häufigkeitsverteilung der Verschwendung, die in verschiedenen Räumen zu verschiedenen Zeiten zustande kommt. Im linken Teil ist sie durch Über-

hitzung, im rechten Teil durch Überlüftungen geprägt. Die Delle dazwischen ist der Sprung.

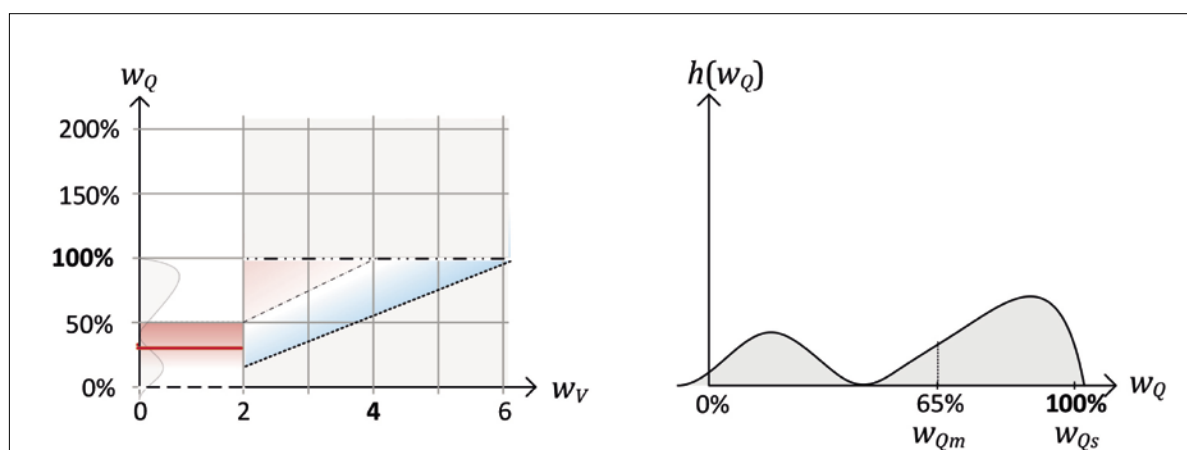
Anders als in Bild 4 ist hier eine maximale Heizwärme  $\Delta Q_{hs}$  berücksichtigt, die die Anlage in einer interessierenden Zeitspanne, vorzugsweise der Heizperiode, abgeben kann. Bezogen auf den Heizwärmebedarf  $Q_{h0}$  ergibt sich daraus das Verschwendungspotenzial der Anlage als

$$(7) w_{Qs} = \frac{\Delta Q_{hs}}{Q_{h0}}$$

Das Verschwendungspotenzial ist hier 100%. Es streut aber noch räumlich und zeitlich. An dem steilen Abfall der Häufigkeitsverteilung im Bereich des Verschwendungspotenzials lässt sich seine begrenzende Wirkung erkennen. Die Verschwendung ist links in Bild 5 (das Diagramm) bei  $w_{Qs}$  gekappt.

Doch das verhindert nicht, dass Räume weiter bis auf  $w_V = 4$  überlüftet werden können. Räume mit hohen Wärmegegewinnen können sogar noch stärker überlüftet werden. Sie treiben  $w_{Qm}$  kräftig nach oben und machen dann auch Werte von 65% möglich. Wie aber geht die Einsparung vor sich?

Bild 5: Begrenzung der Verschwendung durch  $w_{Qs} = 100\%$ .



Die effektive Verschwendung teilt die Häufigkeitsverteilung (man kann auch Verschwendungsprofil sagen) in zwei Hälften mit jeweils 50% auf. Wird  $w_{Q_s}$  nur schwach reduziert, z. B. auf 90%, ändert sich nur die Fläche rechts von  $w_{Q_m}$ , nicht aber  $w_{Q_m}$ .

Gelingt es dagegen,  $w_{Q_s}$  bis auf 50% zu reduzieren (die Delle des Profils im Bereich des Sprungs bei  $w_v = 2$  in Bild 5), fällt der überlüftungsbedingte Teil des Profils fort. Das ist die Situation, die an der Beuth Hochschule nach den Einsparmaßnahmen angetroffen wurde (Bild 3). Bei diesem Wert von  $w_{Q_s}$  kann die Anlage keine Heizwärme mehr nachschieben, wenn Fenster geöffnet bleiben. Stattdessen würde der Raum auskühlen. Deswegen werden Kippstellungen vermieden. Selbst im vollbesetzten Seminarraum werden die Fenster nach der Lufterneuerung wieder geschlossen.

Wenn das Profil nur noch durch Überhitzung geprägt ist, bestimmt nicht mehr die Anlage die Höhe der Verschwendung, sondern das Temperaturempfinden der Nutzer. Konflikte mit Komfortansprüchen gibt es hier nicht. Sie tauchen erst auf, wenn die Verschwendung noch weiter reduziert werden soll.

Anders als im überlüftungsbedingten Teil fällt das Profil hier nicht steil ab, sondern läuft flach aus. So paradox es klingt:  $w_{Q_s}$  wird weniger ausgeschöpft, wenn  $w_{Q_s}$  nur weit genug reduziert wird – nämlich bis in den Bereich der Delle des Profils. Aber wie kann man wissen, wie hoch  $w_{Q_s}$  ist?

### Abbau des Verschwendungspotenzials

Bild 6 zeigt eine Bilanz in der beheizten Zone, aus der in [1] das Verschwendungspotenzial  $w_{Q_s}$  und die Verschwendung  $w_{Q_v}$ , die sich durch Überhitzung maximal einstellen kann, berechnet werden. Zunächst wurden als Einflussfaktoren nur der Energieüberschuss durch die witterungsgeführte Heizkreisregelung und die übliche Überdimensionierungen von Heizflächen und Pumpe untersucht. Unter den getroffenen Annahmen überstieg das Verschwendungspotenzial nicht den kritischen Bereich.

Dann wurde berücksichtigt, dass es in der Praxis unterdimensionierte Heizflächen und unterversorgte Bereiche geben kann. Werden diese Defizite durch Überziehen der Heizkurve ausgeglichen, zeigt sich, dass das Verschwendungspotenzial leicht einen Wert von 100% und mehr annehmen kann.

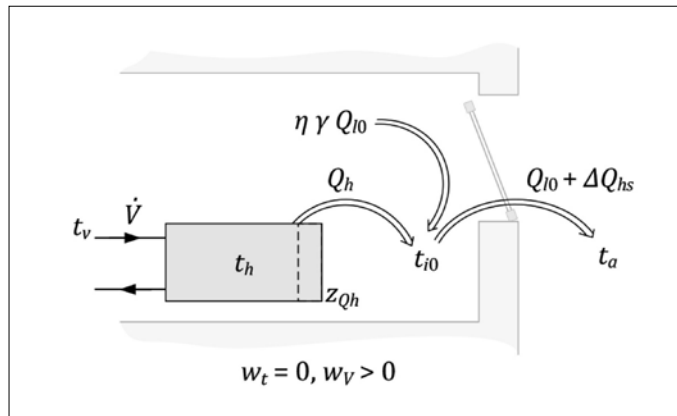


Bild 6: Überdimensionierung der Heizkreispumpe.

Es lohnt sich also, überkritische Verschwendungspotenziale aufzudecken und abzubauen. Hat man auf diese Weise dafür gesorgt, dass Fenster nicht mehr dauerhaft geöffnet werden, wirken sie wie ein Deckel auf dem Topf und halten die Verschwendung gering. Das ist die Situation in Bild 3.

### Monitoring und Optimierung

Bislang werden die Heizlast und das Rohrnetz ganz überwiegend während der Planungsphase eines Bauvorhabens berechnet. Beide Berechnungen bilden aber auch im Betrieb eine wichtige Grundlage, um Vergleichswerte für Temperaturen und Durchflüsse zu erhalten. Der Planer hält damit den Schlüssel für neue Geschäftsfelder in der Hand.

Um Anlagen besser einzustellen, reichen keine Momentaufnahmen. Jede Maßnahme muss in einem Monitoring auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden. Auch schon bei kleinen Anlagen ist es sinnvoll, eine Fernüberwachung zu installieren.

Die Geschäftsmodelle laufen hier nicht mehr wie in den 1980er-Jahren auf die Errichtung einer komplett neuen Heizzentrale und den Verkauf von Wärme an den Kunden hinaus. Stattdessen unterstützt der Fachmann den Kunden im Betrieb seiner Anlage und hilft ihm, wertvolle Heizenergie einzusparen. ◀

### Literatur:

- [1] Fraaß, M.: Das Verschwendungspotenzial in der Raumbeheizung, Heizung Lüftung Haustechnik Bd. 70 (2019), Hefte 11 und 12
- [2] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [3] DBU Forschungsvorhaben „Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung

von Energieeinsparpotenzialen (OPTIMUS)“, 1. 8. 2002 – 30.6.2005

- [4] Jagnow, K., Wolff, D.: Zusammenfassung der Studie „Optimus – Optimierung von Heizanlagen“ unter Berücksichtigung der Contracting-relevanten Fakten, Hannover 2007

Autor:

Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Mathias Fraaß, Beuth Hochschule für Technik, Berlin

Bilder: Mathias Fraaß

### SO ERREICHEN SIE DIE REDAKTION

#### Markus Sironi

Tel.: 02931 8900-46

E-Mail:

m.sironi@strobeldiagroup.de

#### Detlev Knecht

Tel.: 02931 8900-40

E-Mail:

d.knecht@strobeldiagroup.de

#### Markus Münzfeld

Tel.: 02931 8900-43

E-Mail:

m.muenzfeld@strobeldiagroup.de

#### Frank Tischhart

Tel.: 02931 8900-42

E-Mail:

f.tischhart@strobeldiagroup.de

#### Anschrift:

STROBEL-VERLAG GmbH & Co. KG

Postfach 5654

59806 Arnsberg

Fax: 02931 8900-48