

Sorptionsgestützte Klimatisierung und Membran-Kühldecken

Kühldecke mit kondensatfreier Luftentfeuchtung – Pilotanwendung für dezentrale Flüssigsorption



Dipl.-Ing. (FH)
Hannes Rosenbaum,
ILK Dresden gGmbH.

Ausgangslage

Thermische Behaglichkeit, Hygiene, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit sind allesamt entscheidende Zielgrößen für gebäudetechnische Systeme zur Raumklimatisierung. Die hohen Anforderungen an

Temperatur, Luftfeuchte, Zugluftrisiko und Luftqualität im Raum sollen zum Einen mit kleinstmöglichem Energieeinsatz und zum Anderen mit möglichst geringen Investitions- und Betriebskostenaufwendungen erreicht werden. Besonderes Optimierungspotenzial besteht nach wie vor für Luftbehandlungsprozesse zur Luftentfeuchtung. Der Entfeuchtungsprozess selbst stellt vor allem dezentrale und stille Systeme zur Raumklimatisierung vor teils unüberwindbare Herausforderungen und setzt ihnen technische Leistungs- und Einsatzgrenzen. Entweder er ist nicht realisierbar (Kühldecken, thermische Bauteilaktivierung) oder wird gezielt vermieden, um den enormen technischen Aufwand zur Kondensatabfuhr zu umgehen, welcher zur Einhaltung der hygienischen

Anforderungen notwendig wäre (dezentrale Klimageräte, Fassadenklimageräte). (Tabelle 1). Das Resultat sind letztendlich Kompromisse zulasten der Behaglichkeit (Hygieneanforderungen, Raumtemperatursollwerte), mit denen Planer und Nutzer gleichermaßen umgehen müssen.

Auch die Umsetzung energieeffizienter Entfeuchtungsmethoden ist ausbaufähig. Während in dezentralen und stillen Systemen zur Raumklimatisierung Sorptionsprozesse quasi nicht existieren, arbeiten von allen neu installierten zentralen Klimaanlage mit Entfeuchtungsfunktion nur etwa 5% nach diesem Prinzip. Dabei entziehen feste oder flüssige hygroskopische Speichermassen (Sorptionsmittel) Wasserdampf aus dem zuluftseitigen Luftstrom. Zur Regeneration

Grenzen und prozessbedingte Problemstellungen dezentraler und stiller Systeme zur Raumklimatisierung im Zusammenhang mit Luftentfeuchtung und Lösungsansätze des Standes der Technik

Begrenzung der Kühlleistung zur sicheren Kondensatvermeidung (Kühldecken, dezentrale Geräte mit Kühlung durch Kaltwasser)	Grund:	Gefahr der Bauteilschädigung (Kühldecke) Unerfüllte Hygieneanforderungen oder technisch zu hoher Aufwand der Kondensatabfuhr (dezentrale Klimageräte)
	Lösungsansatz:	Begrenzung der Oberflächentemperatur ($\approx 16^\circ\text{C}$) und Regelung (Temperaturanhebung) der Kaltwasser-Vorlauftemperatur in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Außen- oder Raumluft
	Nachteile:	begrenzte Kühlleistung ($75 \dots 100 \text{ W/m}^2$ Kühldecke) nicht ausreichend zur Abfuhr üblicher Gesamtkühllasten (bis 120 W/m^2 Fußboden) bei schwülwarmer Witterung sinkt Kühlleistung auf ein Minimum
Fehlende Möglichkeit zur Luftentfeuchtung bei Kühldecken	Grund:	Kühldecken in Kombination mit natürlicher Lüftung durch feuchteabhängige Leistungsbegrenzung besonders bei schwülwarmer Witterung wirkungslos Fehlende Möglichkeit zur Feuchtelastkompensation
	Lösungsansatz:	Kombination der Kühldecke mit separatem System zur Außenluftaufbereitung oder Duldung der Überschreitungshäufigkeit von Temperatur- und Feuchtesollwerten
	Nachteile:	erhöhter anlagentechnischer und finanzieller Aufwand oder eingeschränkte thermische Behaglichkeit und Leistungsfähigkeit der Personen
Bedenkliche Hygiene durch Kondensatanfall (Split-/Multisplit- und dezentrale Geräte mit Kühlung über Direktverdampfer)	Grund:	stehendes Wasser (Biofilm, Geruch) trotz aufwendiger Kondensatabfuhr durch sehr niedrige Oberflächentemperaturen unvermeidbare „ungewollte“ Luftentfeuchtung verlangt Leistungsreserven der Anlage oberhalb des eigentlichen Bedarfs
	Lösungsansatz:	Anhebung der Verdampfungstemperatur (systemabhängig) mit resultierender Leistungseinbuße oder Abschalten des Gerätes
	Nachteile:	inkonstantes Raumklima und eingegrenzte thermische Behaglichkeit durch Überschreitung der Temperatur- und Feuchtesollwerte
Keine Möglichkeiten zur Umsetzung alternativer energieeffizienter Luftentfeuchtungsmethoden	Sorptionsgestützte Verfahren nutzen regenerative Energien (Solar- oder Abwärme) für Trocknungs- und Luftentfeuchtungsprozesse. Derzeit ist diese Technologie nur in zentralen Klimageräten realisierbar.	

Tabelle 1: Grenzen dezentraler und stiller Systeme zur Raumklimatisierung.

der Speichermassen wird Wärme – idealerweise aus regenerativen Energiequellen – benötigt. Bei steigender Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit sinken neben dem Primärenergiebedarf zur Luftentfeuchtung auch der CO₂-Ausstoß und die Betriebskosten.

Das „Dilemma“

So erstrebenswert es ist, feste oder flüssige Sorptionsprozesse, wie sie in zentralen Lüftungsgeräten gemäß dem Stand der Technik zunehmend zum Einsatz kommen, auf raumnahe Systeme zur Klimatisierung zu übertragen, so scheiterte dies bisher an der technischen Umsetzbarkeit:

Für dezentrale Klimageräte lässt sich der Stand der Technik der sorptionsgestützten Klimatisierung leider nicht ohne Weiteres miniaturisieren: Feste Speichermassen (Sorptionsrotoren) müssen zeitgleich mit der zuluftseitigen Luftentfeuchtung abluftseitig regeneriert werden. Flexibilität der Luftführung und Kompaktheit der Geräte würden erheblich eingeschränkt. Zudem wären innere Leckageluftmengen über den Rotor von bis zu 10% einzuplanen und hohe Regenerationstemperaturen von bis zu 80 °C vorzuhalten. Demgegenüber würde jedoch die Verrieselung flüssiger Sorptionsmittel in einem Luftstrom, aufgrund der korrosiven Wirkung, verstärkte technische Aufwendungen für Tropfenabscheider (Aerosole) erfordern und stellt zur Kompensation der Strömungs- bzw. Rieselgeräusche hohe Ansprüche an die Schalldämmung.

Eine stille Kühlung (thermische Bauteilaktivierung, Kühldecken) mit sorptiver und folglich kondensatfreier Luftentfeuchtung ist mit den bekannten Methoden der sorptionsgestützten Klimatisierung nicht realisierbar. Letzteres wäre im Hinblick auf Hygiene und Leistungsdichte jedoch besonders interessant, denn eine bei niedrigen Oberflächentemperaturen kondensatfrei entfeuchtende Kühlfläche erhöht deren Leistungsdichte,

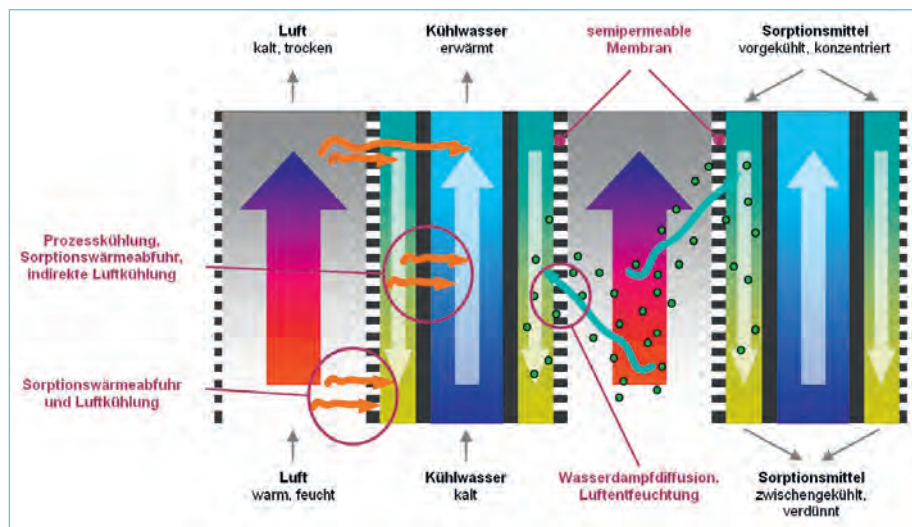


Bild 1: Prinzip eines indirekten flüssigen Sorptionsprozesses über semipermeable Membran.

ein Effekt, der sich entkoppelt von der Feuchtelast durch Personen oder freie Lüftung im Raum ergibt.

Indirekte Sorption: Wärme- und Stofftransport über semipermeable Membranen

Um die sorptionsgestützte Klimatisierung auch in raumnahen Systemen zur Klimatisierung ermöglichen zu können, beschäftigt sich das ILK Dresden seit 2006 mit der flüssigen Sorption über semipermeable Membranen (indirekte flüssige Sorption): Ein temperierbares und hygroskopisches flüssiges Sorptionsmittel entzieht der Luft Wasserdampf und führt die frei werdende Sorptionswärme ab. Beide Medien sind jedoch, anders als in marktüblichen Flüssig-Sorptionsprozessen in der Klimatechnik, durch eine wasserdichte aber wasserdampfdurchlässige Membran voneinander getrennt. Das Sorptionsmittel befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf im Inneren eines längs durchströmten, mit Membranen beauf-

schlagten Abstandshalters und kann nicht in den Luftstrom gelangen. Rieselgeräusche entfallen. Triebkraft für den Entfeuchtungsprozess ist die Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen Luft und Sorptionsmittel, beeinflusst durch dessen Temperatur und Konzentration. Durch ein Vor- und Zwischenkühlen des Sorptionsmittels kann die Luft gleichzeitig entfeuchtet und gekühlt werden. Zudem erhöht sich durch die Vorkühlung die erzielbare Entfeuchtungsleistung. So bleiben die Vorteile erhalten, die mit flüssigen Sorptionsprozessen, mit der zeitlich und örtlich möglichen Trennung von Absorption und Regeneration sowie mit niedrigen Regenerationstemperaturen verbunden sind.

Technologieentwicklung

Um das Verfahren des indirekten flüssigen Sorptionsprozesses zur Luftentfeuchtung über eine Membran zu testen und grundlegende Prinzipien zur praktischen Umsetzung zu erarbeiten, entwickelte das ILK Dresden zunächst einen „Wärmeübertrager



Bild 2: Prototyp eines Membran- Wärmeübertragers zur kondensatfreien Luftkühlung und -entfeuchtung; aktive Membranfläche 2,1 m².

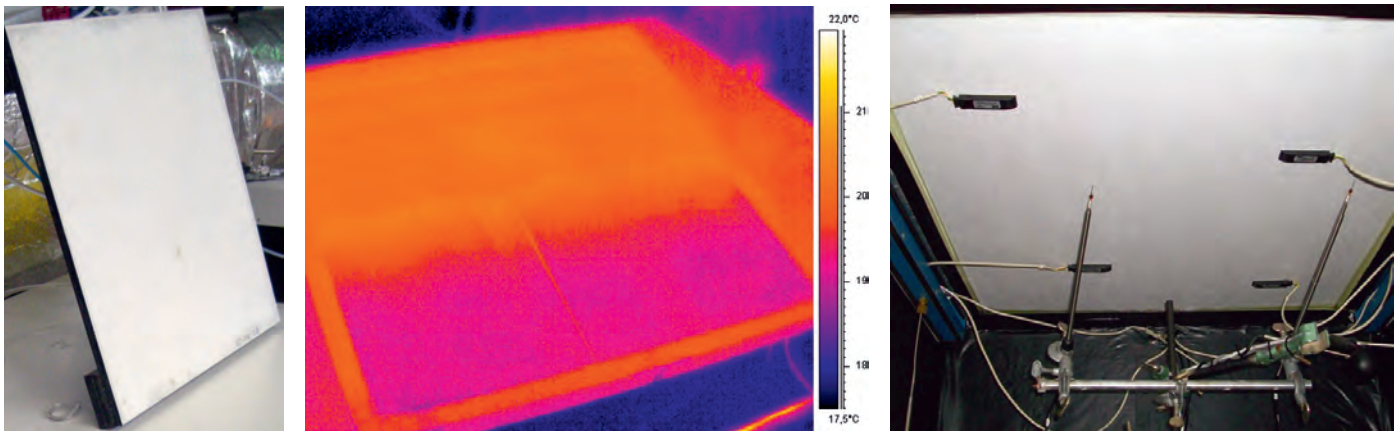


Bild 3: Prototyp eines Membran- Kühldeckenelements (625 x 625 mm), Durchströmung (Thermografiebild) und Einbauzustand im Prüfstand.

mit semipermeabler Membran zur Luftentfeuchtung“, der die Zusammenlegung der verfahrenstechnischen Grundprozesse Kühlung und Trocknung zu einem technologischen Schritt ermöglicht, ohne dass bei der Luftentfeuchtung Kondensat anfällt. Dabei übertrafen die erzielten Ergebnisse der Technologieentwicklung die Erwartungen, bestätigt durch sehr positive Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen. Die während des Entfeuchtungsprozesses durch die Membran diffundierende Wasserdampfmenge lag bei bis zu 160 g/h je Quadratmeter aktive Membran (Auslegungszustand: Luft 32°C, 40% und Sorptionsmittel 14°C).

Die Messergebnisse verdeutlichten, dass mithilfe des indirekten flüssigen Sorptionsprozesses über semipermeable Membranen eine Möglichkeit besteht, die aus der zentra-

len Klimatisierung bekannten energetisch und wirtschaftlich positiven Effekte der sorptionsgestützten Klimatisierung auf dezentrale Klimageräte und stille Kühlsysteme zu übertragen.

Neben den ausgezeichneten Entwicklungsergebnissen und Leistungsdaten offenbarte der konstruktive Aufbau jedoch auch einige Schwächen: Schwer verarbeitbares und teures Membranmaterial (PTFE), begrenzte Formstabilität der durchströmten Stützstruktur sowie fehlende Verarbeitungsverfahren und aufwendige Anschlussstrukturen bescheinigten einen erheblichen Optimierungsbedarf. Aus der Konstruktion selbst, die materialbedingt über festgelegte Mindestquerschnitte verfügte, resultierte ein zu großes Sorptionsmittelvolumen im Wärme-/Stoffübertrager und – damit verbunden – eine extreme Trägheit der Regelung.

Verfahrensoptimierung für Pilotanwendung in Membran-Kühldecken

Zwei jüngst abgeschlossene FuE-Projekte des ILK Dresden beschäftigten sich mit den Zielstellungen, einerseits eine geeignete Membranelemente-Konstruktion für indirekte Flüssigsorptionsprozesse zu entwickeln und andererseits das Verfahren selbst für eine konkrete Anwendung als Membran-Kühldecke zu optimieren. Dazu wurde eigens ein Prüfstand errichtet, um Prototypen membranbasierter Kühldeckenelemente messtechnischen Untersuchungen unterziehen zu können. (Bild 3)

Die Entwicklungsergebnisse beider Projekte sind durchweg positiv und richtungsweisend: Für die einzelnen Bestandteile (Membran als Kontaktfläche zur Raumluft, sorptionsmitteldurchströmter Membranträger, wasserdurchströmtes Temperierelement) wurden jeweils erfolgreich geeignete Konstruktions- und Materialvarianten recherchiert, getestet und bewertet. Auch für die Klimatechnik neue textile Materialien wurden in Betracht gezogen und entsprechende Herstellungsverfahren modifiziert. Die im Prototyp ungesetzten Konstruktionsvarianten weisen ein sehr geringes Sorptionsmittelvolumen (<0,4 statt ursprünglich >4,0 l/m² aktive Membranfläche) auf und ermöglichen bedingt durch geringere Austauschzeiten ein optimiertes Regelverhalten. Mit der Integration des Kühlkreislaufes ist es möglich, den Sorptionsmittelmassenstrom auf das nur für die Aufnahme des Wasserdampfes aus der Luft notwendige Mindestmaß zu reduzieren. Das Kaltwasser führt die Sorptionswärme ab (latente Kühlleistung) und hält die Sorptionsmitteltemperatur und damit die Oberflächentemperatur des Membran-Kühldeckenelements auf konstantem Niveau. Dabei kompensiert es auch die sensiblen thermischen Lasten im Raum. Kühl- und Entfeuchtungsleistung lassen sich

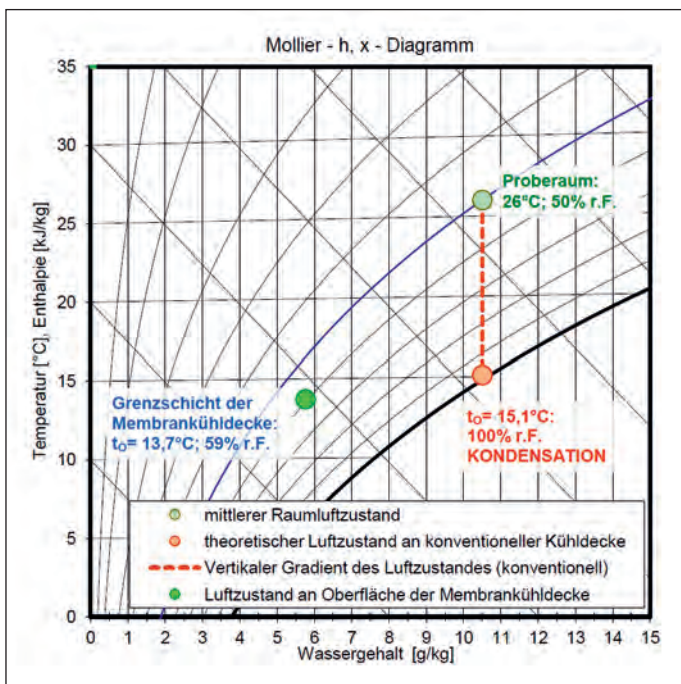


Bild 4: Raumluftzustand und Worst-Case-Luftzustände an der Oberfläche der Membrankühldecke im Vergleich zu klassischer Kühldecken im h,x-Diagramm.

getrennt voneinander über die Eintrittstemperaturen und die Massenkonzentration des Sorptionsmittels regeln. Die Möglichkeit der kondensatfreien Luftentfeuchtung an Kühldeckenflächen bei Oberflächentemperaturen unterhalb der Taupunkttemperatur (Bild 4) sorgt dafür, dass im Vergleich zu konventionellen Kühldecken wesentlich höhere spezifische Kühlleistungen ($q_{\text{sensibel}} = 140 \text{ W/m}^2$ und $q_{\text{gesamt}} = 210 \text{ W/m}^2$) realisierbar sind (Bild 5). Nachweislich entsteht durch die vergleichsweise geringere Oberflächentemperatur an der Membran-Kühldecke keine negative Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit durch Kaltluftabfall oder etwaige Zugerscheinungen.

Im Hinblick auf das Sorptionsmittelhandling ist die Frage noch nicht gänzlich beantwortet, wie sich ein derartiges Membran-Kühldeckensystem in Gebäude und gebäudetechnische Anlagen integrieren lässt. Besonders herausfordernd ist die Diskrepanz zwischen dem sehr geringen Sorptionsmittelbedarf im Membranelement auf der einen und der Entfernung zwischen dieser Absorptionsfläche und der Sorptionsmittelregeneration auf der anderen Seite. Fakt aber ist, dass sich ein Kühldeckensystem mit sorptiver Luftentfeuchtung wesentlich besser mit freier Lüftung kombinieren lässt als ein konventionelles stilles Kühlsystem, dessen Leistung paradoxerweise oft dann gedrosselt werden muss, wenn der größte Kühlbedarf besteht – bei feuchter sommerlicher Witterung.

Ausblick

Die Entwicklung des membranbasierten Kühldeckensystems zeigt, dass sich durch den Einsatz semipermeabler Membranen Flüssigsorptionsprozesse in stillen Systemen zur Klimatisierung umsetzen lassen. Der Anwendung des Prozesses in dezentralen Klimageräten steht jedoch noch eine Weiterentwicklung der Membranelemente zum komplexen, mit drei Fluiden beaufschlagten Wärme- und Stoffübertrager bevor. Insgesamt betrachtet sorgt der Flüssigsorptionsprozess über Membranen in dezentralen stillen Systemen zur Raumklimatisierung für ein Novum, denn die kondensatfreie Luftentfeuchtung, kombiniert mit effektiver Kühlung und der Membran als Trennschicht zwischen Luft und Sorptionsmittel, wird allen wesentlichen Aspekten der thermischen Behaglichkeit gleichermaßen gerecht. ◀

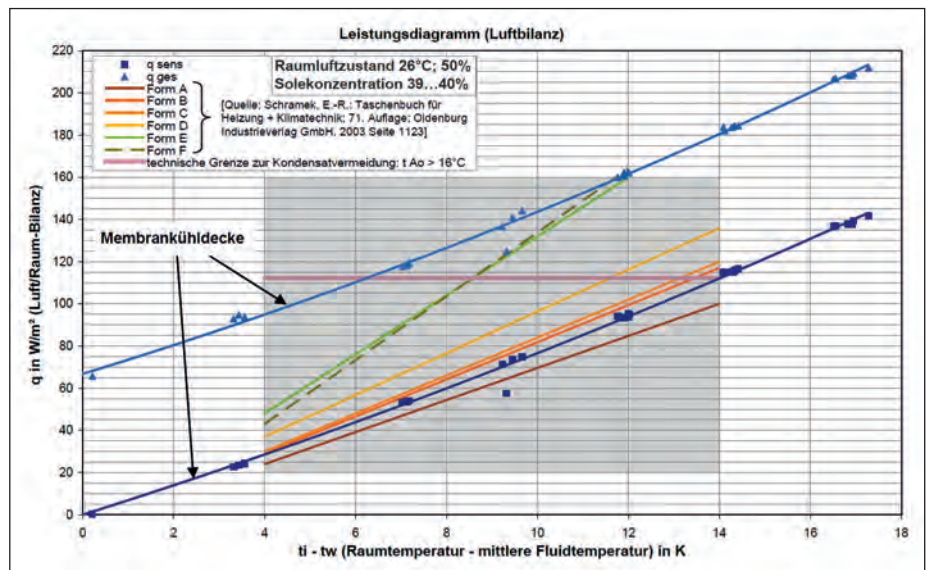


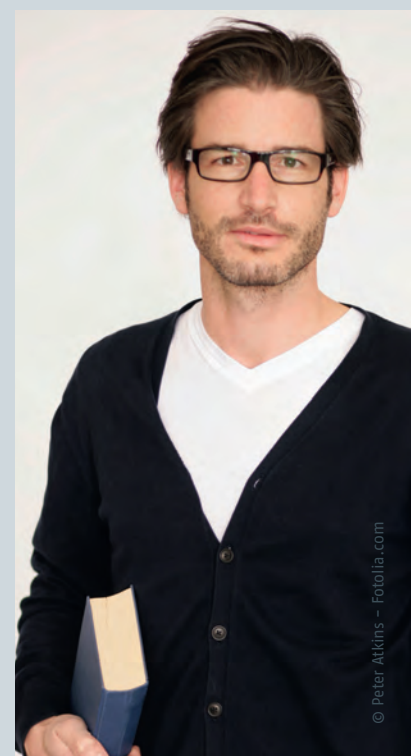
Bild 5: Leistungsdiagramm und Systemvergleich.

Aktuelle Fachbücher

Jetzt versandkostenfrei bestellen!

www.strobel-verlag.de/shop

- ▶ Sanitär
- ▶ Klempnerei
- ▶ Heizung
- ▶ Lüftung, Klima, Kälte, Kachelöfen
- ▶ Sonnenenergie, Biogas und Umwelt
- ▶ Gas- u. Flüssiggasversorgung
- ▶ Küchen
- ▶ Fachrechnen
- ▶ Fachzeichnen
- ▶ Meister- und Gesellenprüfung
- ▶ Kalkulation und Betriebsführung
- ▶ Normen, Gesetze und Vorschriften
- ▶ Messekataloge
- ▶ Fachzeitschriften



© Peter Atkins - Fotolia.com



STROBEL VERLAG GmbH & Co KG
 Zur Feldmühle 9-11
 59821 Arnsberg
 Tel. 02931 8900 0
 Fax 02931 8900 38
www.strobel-verlag.de