

Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen



© Stephanie Phillips / iStock Exclusive / Getty Images

Einleitung

Mit dieser Broschüre steht ein Werkzeug zur Verfügung, das die Auswahl eines energieeffizienten Kühlsystems bei Gebäudesanierungen erleichtern soll. Es richtet sich hauptsächlich an Architekten und Bauherren und kann in der Diskussion mit den Planern verwendet werden.

Es werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, um ein energieeffizientes Kühlen zu erreichen. Die Randbedingungen im konkreten Fall entscheiden, welches Kühlsystem sich am besten eignet.

Systemauswahl

Um einen energie- und exergieeffizienten Betrieb sicherzustellen, sollen die Möglichkeiten zum Freecooling optimal genutzt werden. Das heisst, die Umgebungswärmesenken sollen maximal zur Kühlung ausgenutzt werden. Diese können Grundwasser, Erdreich, Seewasser etc. oder auch Aussenluft sein. Sinnvoll ist auch die im Betrieb vorhandene Abwärme oder solare Wärme zur thermischen Kälteproduktion zu verwenden. Zu diesem Zweck wurde entschieden, dass nur Systeme betrachtet werden, welche mit mindestens 18°C Wasservorlauftemperatur im Raum betrieben werden oder eine solche produzieren können.

Bei der Systemwahl ist auf das Gesamtsystem Kälteproduktion und Rückkühler zu achten. Nur ein optimales Zusammenspiel dieser beiden Komponenten sowie eine ausführliche Betriebsoptimierung holt das Maximum an Energieeffizienz aus dem System. Wenn grössere Anlagen konzipiert werden dürfen sie gerne modular aufgebaut sein. Der Teillastbetrieb wird so häufig effizienter und die Redundanz wird gewährleistet.

Entscheidungshilfe

Die Entscheidungshilfe besteht aus zwei voneinander getrennten Teilen - der Wahl des Abgabesystems (raumseitig) und der Wahl des Erzeugersystems (produktionsseitig). Mit Hilfe der Abgabesystemauswahl erhält man unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen eine reduzierte Auswahl generell möglicher Systeme. Die Randbedingungen für Abgabesysteme beschreiben bauliche Eigenschaften des Gebäudes nach der Sanierung. Mit dieser Systemauswahl geht man anschliessend in den entsprechenden Systemvergleich um eine Entscheidung für ein System zu treffen. Es werden auch verschiedene Erzeugersysteme zum Vergleich dargestellt, mit Kenndaten die helfen sollen, eine erste Beurteilung durchführen zu können.

Empfehlung Lüftung

Die hohe Vorlauftemperatur bei der Raumkühlung hat nicht nur den Vorteil, dass ein solches System energieeffizienter ist und ein behaglicheres Innenraumklima bewirkt als Systeme mit tiefen Kühltemperaturen, auch kann bei schweizerischen Klimaverhältnissen häufig auf eine Kühlbatterie bei der Zuluftaufbereitung verzichtet werden. Wenn die Zuluftmenge auf die hygienisch notwendige Luftmenge begrenzt ist, reicht die Kälterückgewinnung von der Abluft aus um die Zuluft auf ein ausreichend tiefes Temperaturniveau zu konditionieren. Die Unterkühlung der Zuluft um Wasserausscheidung zu bewirken ist nicht mehr notwendig, da aufgrund der hohen Vorlauftemperatur bei der Raumkühlung im Raum die Kondensatgefahr sehr gering ist. Da die Feuchte im Raum jedoch unkontrolliert ist, muss eine grössere Bandbreite für den Komfortbereich toleriert werden.

Es wird empfohlen, wenn möglich auf eine Kühlbatterie bei der Zuluftaufbereitung zu verzichten. So können nicht nur die Investitionskosten für die Zuluftaufbereitung verringert werden, auf die Produktion von Kälte mit tieferen Temperaturen einzig für Luftkühlung kann ebenfalls verzichtet werden.

Grundlagen Berechnung Abgabesysteme *

Kälteleistung Wassersystem	Lüftung	Mindestvorlauftemperatur Wasser
30 W/m ² gekühlte Bodenfläche	Hygienischer Luftwechsel 36 m ³ /hP	18°C

Grundlagen Berechnung Erzeugersysteme *

Kälteleistung	Kaltwassertemperaturen	Kühlgrenze	Auslegungsfall
30 W/m ² gekühlte Bodenfläche	18/22°C	17°C, Aussenlufttemperatur	26°C/52 % RF

* Elektrizitätskosten, ewz Tarif B Naturpower, HT:15 Rp/kWh, NT:8 Rp/kWh. Es wurde 70% HT und 30% NT angenommen. Beide Tarife bilden ein Richtwert, Leistungspreise und MWST sind nicht eingerechnet.

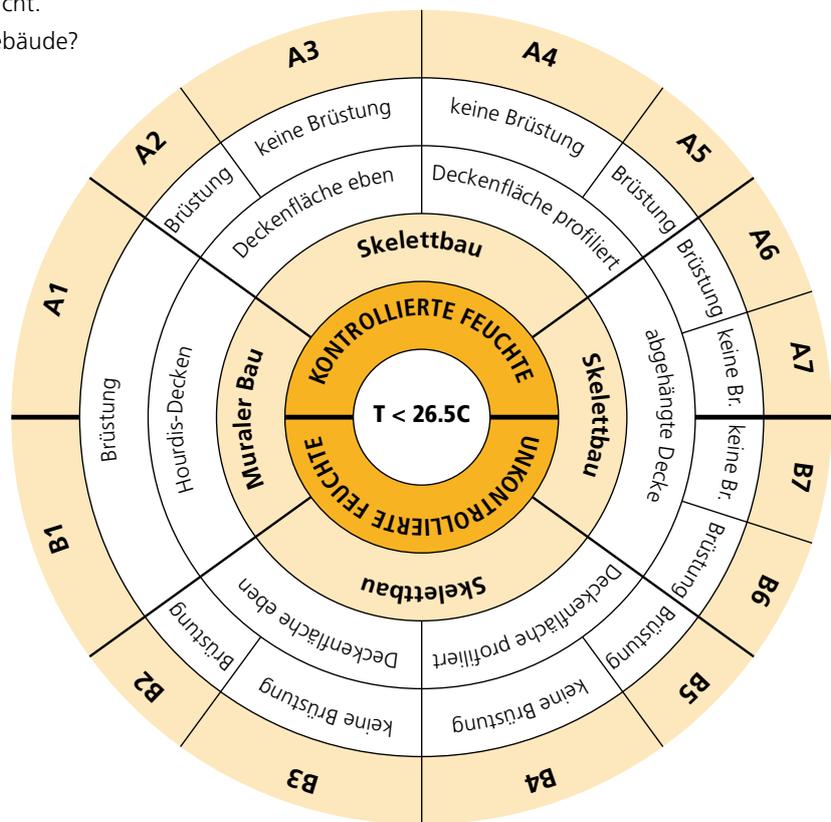
Abgabesysteme

Die Entscheidungshilfe für Abgabesysteme besteht aus zwei Teilen; ein Reduzierungsvorgang aufgrund von baulichen Randbedingungen und ein Vergleich verschiedener Systeme (s. folgende Seite).

Bemerkung: Die Kombination Doppelboden und abgehängte Decke wird nicht berücksichtigt, da diese Alternative zu wenig Gebäudemasse für eine bewilligte Kühlung darstellt. Es werden keine Abgabesysteme betrachtet, welche zwingend einen Doppelboden benötigen.

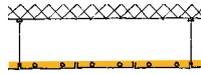
Der Reduzierungsvorgang bezieht sich auf die bauliche Situation nach der Sanierung. Die Rose wird von Innen nach Aussen gelesen. Jeder untenstehende Punkt entspricht einem Ring in der Rose:

1. Zuerst muss entschieden werden ob eine kontrollierte Raumluftfeuchte erwünscht ist oder nicht.
2. Welche Grundkonstruktion hat das Gebäude?
3. Welche Art von Decke ist vorgesehen?
4. Wird eine Brüstung vorhanden sein oder nicht?
5. Die unter den baulichen Randbedingungen möglichen Systeme sind unter der Ziffer A1–7 oder B1–7 zu finden.



mögliche Abgabesysteme	A (kontrollierte Feuchte)							B (unkontrollierte Feuchte)						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Metallkühldecke	X					X	X	X					X	X
Gipskühldecke	X					X	X	X					X	X
Kapillarrohrkühldecke		X	X						X	X				
Konvektive Kühldecke	X					X	X	X					X	X
Kühlsegel		X	X	X	X				X	X	X	X		
Aktive Kühlpaneele bzw. Kühlbalken	X	X	X	X	X	X	X							
Optimiertes Brüstungsgerät	X	X			X	X		X	X			X	X	
Kühlmodule mit Einbindung der Deckenmasse		X	X						X	X				

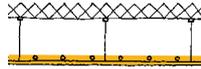
Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
70–80	120–210	0.8–0.9	0.4–0.5



Metallkühldecke

Wasserführende Kupfer- oder Kunststoffrohre werden an gelochte oder ungelochte Metallplatten montiert.
Vorteile: Schallabsorbierende bzw. -reflektierende Ausbildung möglich. Klappbar bzw. abnehmbar.
Nachteile: Lackierung der Deckenelemente wegen des geringen Absorptionsfaktors (von Aluminium) erforderlich.

Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
70–80	160–290	0.8–1.9	0.4–0.6



Gipskühldecke

Wasserführende Kupferrohre werden an gelochte oder ungelochte Gipsplatten montiert.
Vorteile: Schallabsorbierende bzw. schallreflektierende Ausbildung möglich.
Nachteile: Nicht klappbar.

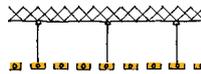
Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
80–100	120–210	0.6–0.8	0.4–0.7



Kapillarrohrkühldecke

Wasserführende Kapillarrohre aus Kunststoff werden z.B. an der Rohdecke verklebt und verputzt. Können auch auf bestehenden Metallplatten verlegt werden.
Vorteile: Sehr geringe Einbauhöhe.
Nachteile: Verputzte Kapillarrohre sind nicht zugänglich.

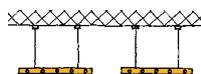
Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
70–110	110–260	0.6–0.8	0.2–0.3



Konvektive Kühldecke

Wasserführende sichtbare Kühllamellen in Paneelstruktur.
Vorteile: Nutzung der Speicherfähigkeit der Rohdecke.

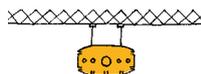
Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
70–90	320–590	0.7–0.9	0.3–0.4



Kühlsegel

Abgehängtes Wasser- oder Luftführendes Kühlelement.
Vorteile: Nutzung der Speicherkapazität der Rohdecke.
Nachteile: Bei Luft als Kälteträgermedium grosse Querschnitte der Verteilsysteme.

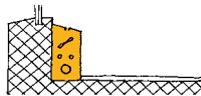
Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
50–60	80–170	1.1–1.2	0.03–0.05



Aktive Kühlpaneel bzw. Kühlbalken

Kühldeckenpaneel in der abgehängten Decke integriert oder freihängend unter der Decke. Kombination von Wasser und Luftkühlung.
Vorteile: Kein zusätzlicher Zuluftauslass notwendig.
Nachteile: Risiko für Tauwasseranfall bei unkontrollierter Feuchte oder zu niedrigen Zulufttemperaturen.

Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
35–50	240–290	1.5–1.8	0.05–0.06



Optimiertes Brüstungsgerät

Brüstungsgerät mit sehr effizienten Ventilatoren welches auch als Zuluftauslass dient.
Vorteile: Kein zusätzlicher Zuluftauslass notwendig, integrierter Zuluftkanal sowie Kanal für Stark- und Schwachstrom und zusätzliche Dämmung der Brüstung. Eine Variante mit tiefer Bauhöhe ist erhältlich für vollverglaste Fassaden. Geräterweise Regelung.
Nachteile: Bei vollverglasten Fassaden nicht immer einsetzbar.

Effizienz kWh Kälte/Strom	Investition [CHF/m ² BF]	Energie [CHF/m ² BF a]	Fläche [m ² AF/m ² BF]
70–80	180–220	0.8–0.9	0.3–0.4



Kühlmodule mit Einbindung der Deckenmasse

Kühlmodul welches direkt an der Betondecke angebracht wird. Durch den direkten Kontakt mit der Betondecke wird diese aktiviert und kann für die Kühllastabtragung genutzt werden.
Vorteile: Nutzung der Speicherfähigkeit der Rohdecke. Kann als Akustikelement ausgebildet werden.
Nachteile: Beschränkte Einsatzmöglichkeiten da eine freie, ebene Betondecke mit ausreichender Speichermasse Voraussetzung ist.

BF= Gekühlte Bodenfläche (Kälteleistung 30 W/m²)

AF= Aktive Fläche

Die Investitionskosten beinhalten Montage, bei den Metall- und Gipskühldecken jedoch nicht die Deckenplatten (je nach Deckenplattenwahl stark variierende Preise). Elektrizitätskosten siehe Einleitung.

Erzeugersysteme

Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung

Der Betrieb ist ausgelegt auf einen möglichst grossen Anteil Freecooling durch die Rückkühlung:

- Vorteile: Keine Anforderungen an den Gebäudestandort, elektrische Energie ist überall verfügbar.
- Nachteile: Grosser Platzbedarf und hohe statische Lasten je nach Kühlleistung (Rückkühlung notwendig).

	Effizienz kWh _{Th} /kWh _{El}	Investition ¹ [CHF/m ² _{BF}]	Energie ^{2,3} [CHF/m ² _{BF} a]
KKM 75 kW RK Direktverflüssigung	5–9	20–40	0.4–0.6
KKM 75 kW RK Trocken	5–8	25–45	0.4–0.6
KKM 75 kW RK Hybrid	7–12	45–75	0.4–0.7
KKM 225 kW RK Trocken	7–11	20–30	0.3–0.5
KKM 255 kW RK Hybrid	9–15	25–40	0.4–0.6

1. Die Investitionskosten verstehen sich inkl. Leitungen zwischen KKM und RK, Armaturen und Steuerung, ohne MWST, gegebenenfalls ohne Wasseraufbereitung (Hybrid).
2. Kosten für Zürich, inkludiert angenommener Wasserbedarf 100% Frischwasser, 1.44 Fr./m³ + Leistungsgebühr 50 Fr. pro m³/h + Zuschlag Klimanutzung 80 Fr. pro l/min.
3. Elektrizitätskosten siehe Einleitung.

Freecooling mit Grundwasser oder Erdsonden

Bei der Grundwasserkühlung wird das Grundwasser als Wärmesenke genutzt (bei Erdsonden die Erde). Diese Energiequellen dienen meistens auch für den Heizfall:

- Vorteile: Nahezu konstante Quellentemperaturen ergeben einen sehr energieeffizienten Betrieb.
- Nachteile: Ausreichend freie Fläche muss für die Bohrung vorhanden sein.

	Effizienz kWh _{Th} /kWh _{El}	Investition ¹ [CHF/m ² _{BF}]			Energie ^{2,3} [CHF/m ² _{BF} a]
		75 kW	225 kW	660 kW	
Grundwasser	13–22	10–15	5–10	5–10	0.6–1.1
Erdsonden	8–18	15–25	15–25	10–20	0.2–0.4

1. Aufteilung der Investitionskosten auf Heizen und Kühlen aufgrund der benötigten Energien. Gezeigt werden die Kosten für den Kühlfall.
2. Inklusive Gebühren für GW-Nutzung Kanton Basel Stadt.
3. Elektrizitätskosten siehe Einleitung.

Absorptionskältemaschine mit Rückkühlung

Antrieb der Kältemaschine durch Wärme aus z.B. Fernwärme oder Solarthermie:

- Vorteile: Sinnvoll wenn im eigene Betrieb Abwärme produziert wird.
- Nachteile: grösserer Kühlturm zur Rückkühlung erforderlich (höhere Abwärme beim Absorptionskälteprozess).

	COP _{Th} /COP _{El} ² [-]	Investition ³ [CHF/m ² _{BF}]	Energie ^{4,5} [CHF/m ² _{BF} a]
AKM 75 kW RK Trocken	0.7/14	35–65	0.9–1.5
AKM 75 kW RK Hybrid	0.7/14	65–115	1.5–2.5
AKM 225 kW ¹ RK Trocken	0.7/14	25–45	0.9–1.5
AKM 225 kW ¹ RK Hybrid	0.7/14	40–75	2.1–3.5
AKM 660 kW RK Hybrid	0.7/14	35–65	2.0–3.3

1. Zwei Absorptionskältemaschinen in Modulen.
2. Der Strombedarf für Rückkühlung und Kältemaschine wurde mit 7% der Kältemenge geschätzt.
3. Inkludiert einzig die Absorptionskältemaschine inkl. Inbetriebnahme, ohne MWST. Ohne allfällige Wasseraufbereitung, inkl. Steuerung, ohne MWST.
4. Die Energiekosten stellen sich aus Wärmeenergiekosten, 2.6 Rp./kWh ewb Bern, Sommertarif Mai–Okt., und Elektrizitätskosten siehe Einleitung.
5. Wasserverbrauch geschätzt mit 4 kg/h pro kW RK-Leistung.
Kosten für Zürich inkludiert angenommen Wasserbedarf 100% Frischwasser, 1.44 Fr./m³ + Leistungsgebühr 50 Fr pro m³/h + Zuschlag Klimanutzung 80 Fr. pro l/min.

See- oder Flusswasserkühlung

See-/Flusswasser dient als Wärmesenke, in Kombination mit einer Wärmepumpe auch als Wärmequelle für den Heizfall:

- Vorteile: Effizienter Betrieb. Kann als Rückkühlung dienen beim Einsatz von einer Kältemaschine für Spitzenlasten.
- Nachteile: Einsatzgrenzen aufgrund zu hoher Wassertemperatur, vor allem beim Flusswasser.

Abwasserkühlung

Abwasser dient als Wärmesenke, in Kombination mit einer Wärmepumpe auch als Wärmequelle für den Heizfall:

- Vorteile: Effizienter Betrieb. Kann als Rückkühlung dienen beim Einsatz von einer Kältemaschine für Spitzenlasten.
- Nachteile: Hohe Baukosten, sollte mit Revision Abwasserkanal zusammenfallen (15 l/s Mindestabfluss).

BF = Gekühlte Bodenfläche (Kälteleistung 30 W/m²)
RK = Rückkühlung

Titelbild © Stephanie Phillips / iStock Exclusive / Getty Images
Gestaltung: Basler & Hofmann, Zürich

Weitere Informationen zum Projekt «Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen» sowie Beispiele von Kombinationen von Abgabe- und Erzeugersystemen finden Sie unter www.bfe.admin.ch/forschung/gebäude.

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.energie-schweiz.ch

Vertrieb: Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Vertrieb Publikationen, CH-3003 Bern · www.bundespublikationen.admin.ch
Bestellnummer 805.114.d 07.2010 / 2000 / 860247189