

Dirk Krutke

Bau klimatik

**Basiswissen
Architektur**

einfach skizziert

avedition

Inhalt

01 Energie und Bilanz

Treibhauseffekt	10
A/V-Verhältnis	12
Bilanz	14
Solare Gewinne	16
Innere Gewinne	18
Lüftungswärmeverluste (H_V)	20
Transmissionswärmeverluste (H_T) ..	22
Energienachweis	24
Referenzgebäudeverfahren	26
Energieausweis	28

02 Wärme- erzeugung

Heizungstechnik	32
JAZ und COP oder Erzeuger- aufwandszahl	34
Endenergie	36
Primärenergiefaktor	38
Anlagenaufwandszahl	40
Heizlast	42

Norm-Transmissionsverluste (H_T) ..	44
Norm-Lüftungsverluste (H_V)	46
Gas	48
Holzscheite und Pellets	50
Brennwerttechnik	52
Fern- und Nahwärme	54
BHKW	56
Brennstoffzellen	58
Umweltwärme	60
Erde	62
Wasser	64
Luft	66
Wärmepumpen	68
Solare Wärmegewinnung	70
Heizungsraum	72

03 Wärme- übertragung

Die Auswahl	76
Konvektion und Strahlung	78
Vor- und Rücklauftemperatur	80
Rohrleitungen	82
Röhren- oder Gliederheizkörper	84
Plattenheizkörper	86
Bodenkonvektor	88
Flächenheizung	90
Bauteilaktivierung	92
Infrartheizung	94

04 Wohnraum- lüftung

Lüftung im Wohnungsbau	98
Luftwechselrate und Volumenstrom	100
Luftwechselrate (n) im Wohnungsbau	102
Nennlüftung (V)	104
Infiltration	106
Zonierung im Grundriss	108
Innenliegende Bäder und WCs	110
Lüftungskonzept	112
Ausgeglichene Wohnungslüftung	114
Visualisierung des Lüftungskonzepts	116
Schachtplanung	118
Wärmerückgewinnung dezentral	120
Wärmerückgewinnung zentral	122

05 Sommerlicher Wärmeschutz

Sommerlicher Wärmeschutz	126
Bauartschwere	128
Berechnung von C_{WIRK}	130
Nachtlüftung	132
Sonnenschutz	134
Sonnenschutzverglasung (g)	136

Rahmenanteil (F_F)	138
Permanente Verschattung (F_S)	140
Sonnenschutzeinrichtung (F_C)	142
Gesamtenergiedurchlassgrad (g_{total})	144
Fensterflächenanteil (f_{WG})	146
Der kritische Raum	148
Vorhandener Sonneneintrags- kennwert	150
Zulässiger Sonneneintrags- kennwert	152
Der sommerliche Wärmeschutz- nachweis	154

06 Anhang

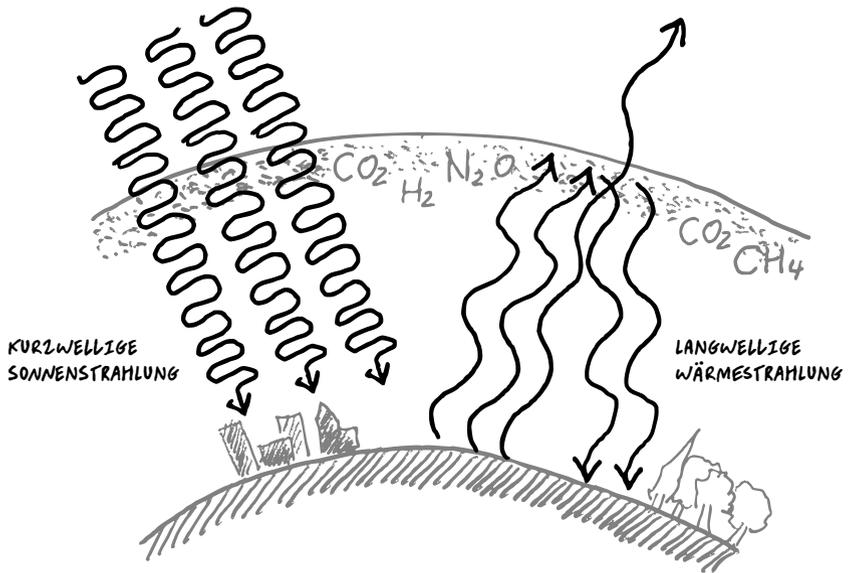
Formelzeichen und Einheiten	157
Griechische Buchstaben	157
Normen	158
Index	159
Autor, Impressum	160

Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist maßgeblich für die globale Erwärmung und den vom Menschen eingeleiteten Klimawandel verantwortlich. Durch sogenannte Treibhausgase entsteht in den oberen Schichten der Atmosphäre eine Gasschicht, die denselben Effekt erzeugt wie bei einem Treibhaus das Glas.

Die Erde wird ständig durch Strahlungswärme der Sonne erhitzt. Das ist auch lebensnotwendig und im Grunde kein Problem. Hat die Erde einen Überschuss an Wärme, kann sie ihrerseits diese durch Strahlung an die unendlichen Weiten des Weltraums abgeben. Das Problem ist nur: Die Strahlung, die die Erde abgibt, hat eine andere Wellenlänge als die der Sonne. Dumm ist nun, dass die besagte Schicht aus Treibhausgasen die Wellenlänge der Abstrahlung der Erde nicht durchlässt, sondern zurückreflektiert. Die Strahlung der Sonne hingegen wird durchgelassen. Dadurch wird das Gleichgewicht aus Wärmeaufnahme und Abgabe gestört.

Somit kann die Erde die Temperatur nicht mehr regulieren und akkumuliert ständig mehr Energie, die sie nicht mehr loswird. Die Bilanz der Erde ist damit ständig positiv. Das mag auf einem Konto bei der Bank gut ankommen, aber jeder weiß von seinem Körper: Wenn man seine Temperatur nicht mehr regeln kann, ist das sehr ungesund. Von Erfrieren bis Hitzetod ist alles möglich. Das Ergebnis im Fall der Erde ist **globale Erwärmung**. Der Bausektor hat daran einen Anteil von ca. 30% durch Errichtung und Betrieb von Gebäuden. Daher stehen die Architektur und damit auch die Architekten hier in der Pflicht, diesen Anteil erheblich zu reduzieren, damit diese Gasschicht abgebaut werden kann und unser Planet wieder in die Lage versetzt wird, seine Temperatur und die der Atmosphäre zu regulieren.



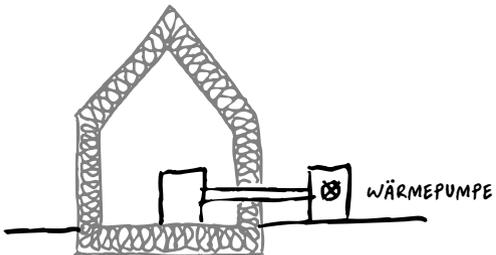
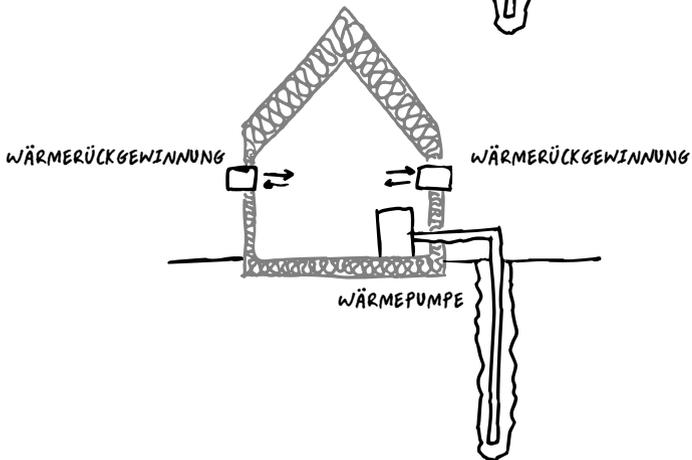
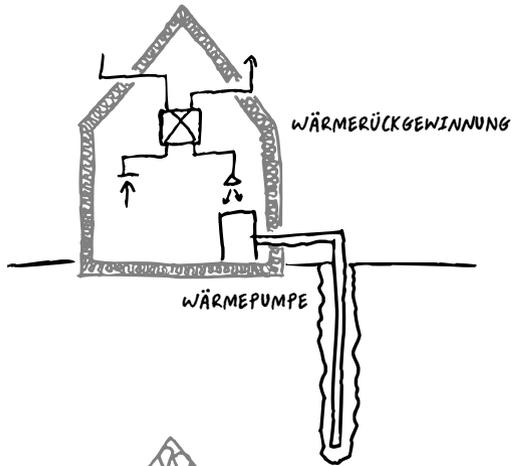
Energienachweis

Früher wurde auf Grundlage des **Energieeinspargesetzes von 1976** und der dazugehörigen Wärmeschutzverordnungen ein sogenannter Wärmedämmnachweis geführt. Die Haustechnik wurde vom Haustechnikplaner separat betrachtet. Erst seit Erlass der ersten **Energiesparverordnung im November 2001** hat man damit begonnen, die Gebäudehülle und die Haustechnik gemeinsam zu betrachten und die Wechselwirkung aus Energieerzeugung und Energieverlusten in einem Nachweis festzuhalten.

Seither darf der Architekt nicht mehr isoliert nur seine bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle berücksichtigen, sondern muss den Energieverbrauch seines Gebäudes ermitteln. Damit sind die Anforderungen an den Planungsprozess insbesondere für den Architekten erheblich gestiegen. Doch dafür haben sich neue Möglichkeiten in der **Abstimmung zwischen Bautechnik und Haustechnik** ergeben, die Freiheiten erlauben, welche ein reiner Wärmedämmnachweis nicht gestattet hätte.

Das Ergebnis eines Energienachweises ist am Ende unter Einhaltung gewisser Rahmenbedingungen der Energieverbrauch des geplanten Gebäudes. Wie wir die gesetzliche Zielzahl erreichen, ist uns Planern freigestellt. So können wir durch den Einsatz von erneuerbaren Energien oder effizienter Haustechnik an der thermischen Qualität der Hülle sparen. Dies ermöglicht zum Beispiel große Fensterflächen. Wenn ich etwa meine Wärme effizient oder erneuerbar erzeuge, macht es auch nichts, wenn ich dann mehr davon verbrauche.

Umgekehrt können wir unser Gebäude auch besser wärmedämmen, um damit eine weniger effiziente Haustechnik zu kompensieren. Vielleicht ist unser Grundstück zu klein und wir dürfen nicht in die Tiefe bohren oder eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ist planungsrechtlich nicht möglich. Dann müssen wir eben die Hülle verbessern, um von der Wärme weniger zu verbrauchen. Eines jedoch können wir seit 2009 nicht mehr umgehen: Wir sind gesetzlich verpflichtet, einen gewissen Anteil der Wärme erneuerbar zu generieren. Der Anteil ist je nach eingesetzter Technik genau definiert.



Heizlast

Die Heizlast gibt uns an, welche **Leistung unsere Heizungsanlage** haben muss, um unser Haus in jeder Lebenslage mit genügend Wärme zu versorgen. Dabei kommt es auf die Wärmedämmqualität der Hülle und das zu beheizende Innenvolumen an. Die Leistung der Heizung wird dabei aber nur selten benötigt und ist daher die Auslegung für den statistisch schlimmsten Fall. Wie diese Extremsituation aussieht, hat uns die DIN EN 12831 vorgegeben.

Die Annahme lautet:

- Das Gebäude ist völlig leer, es gibt keine internen Gewinne.
- Es scheint keine Sonne, es gibt keine solaren Gewinne.
- Draußen herrschen die statistisch kältesten Temperaturen, diese nennen wir Norm-Außentemperatur Θ_e , sie entspricht der tiefsten Temperatur einer Kälteperiode (muss zehnmal innerhalb von 20 Jahren an zwei aufeinanderfolgenden Tagen gemessen worden sein).
- Es ist eine angestrebte Temperatur zu erreichen, diese nennen wir Norm-Innentemperatur Θ_{int} .

Daraus ergeben sich dann die Norm-Verluste:

- Norm-Transmissionsverluste Φ_T (siehe nachfolgende Kapitel)
 - Norm-Lüftungsverluste Φ_V (siehe nachfolgende Kapitel)
 - Diese werden noch ergänzt um die Aufheizlast Φ_{RH}
- Am Ende werden alle Verluste und die Aufheizlast einfach addiert.

Dabei können wir die Heizlast einzelner Räume bestimmen, um die Größe der wärmeabgebenden Flächen zu bestimmen oder die des ganzen Hauses, um die Leistung des Wärmeerzeugers zu berechnen. Die Heizlast eines Hauses ist logischerweise die Summe der Heizlasten aller Räume.

Warum noch eine Aufheizlast, wenn doch schon die denkbar schlimmste Situation als Grundlage gewählt wurde? Nun, vielleicht kann man sich das so vorstellen: Wenn eine Heizung abgedreht wurde, dann ist nicht nur das Hausinnere kalt, sondern das gesamte System Heizung wurde abgekühlt. Wasser als Energieträger, Wärmetauscher und andere Metallbauteile müssen nun auch erst mal wieder erwärmt werden, bevor das Haus selber aufgeheizt werden kann. Das ist eine zusätzliche Last für den Sonderfall Heizlast, die die maximale Leistung der Heizung erfordert.

$$(H_T + H_V) \times \Delta T$$

H_T TRANSMISSIONSWÄRMEVERLUSTE (SIEHE NÄCHSTE SEITE)

H_V LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE (SIEHE ÜBERNÄCHSTE SEITE)

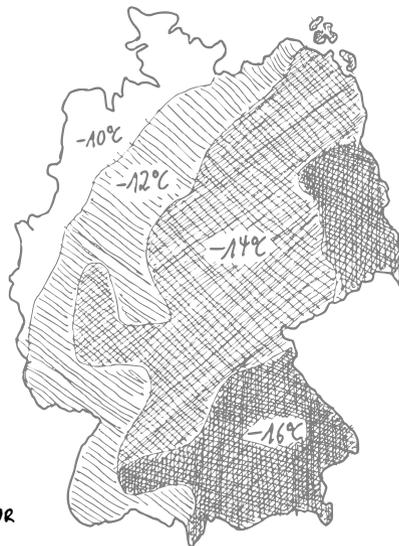
ΔT NORMINNENTEMPERATUR - NORMAUSSENTEMPERATUR

NORMINNENTEMPERATUR
DIN 4108-6 TABELLE 2

- AUFENTHALTSRÄUME +20°C
- BÄDER, UMKLEIDEN ETC. +24°C
- NEBENRÄUME BEHEIZT +15°C
- UNBEHEIZTE NEBENRÄUME +10°C

NORMAUSSENTEMPERATUR
DIN 4710

- 4 KLIMAZONEN UND 20 STÄDTE



TIEFSTE TEMPERATUR

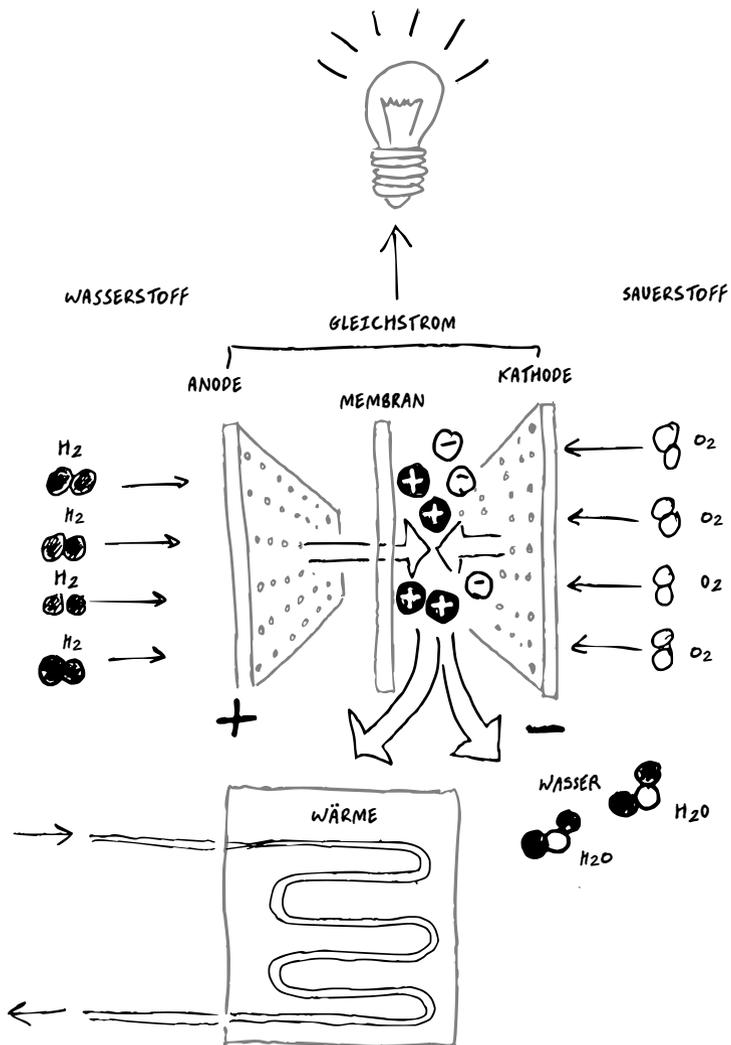
- 10-MAL IN 20 JAHREN
- AN MIND. 2 AUF EINANDERFOLGENDEN TAGEN

Brennstoffzellen

Eine Sonderform der Energiegewinnung in BHKWs ist die Brennstoffzelle. Der Name ist für den Laien eher irreführend. Da aber bis heute der Wirkungsgrad mit 1 kW Heizleistung für die meisten Anwendungen eher zu gering ist, wird sie in der Regel mit einer Gasbrennwerttherme kombiniert verwendet. Diese Kombination macht schon dadurch Sinn, dass das Erdgas auch als Energieträger für die Brennstoffzelle verwendet wird. Die Brennstoffzelle benötigt **Wasserstoff**, das flüchtigste Element unseres Periodensystems. Wir können Wasserstoff nicht lange lagern und auch nur aufwendig herstellen. Es wird daher aus dem Erdgas (CH₄) heraus gespalten. Dabei bleibt leider Kohlenstoff übrig. Weiterhin fällt noch Schwefel ab – das aber nur deswegen, weil die Lieferanten ihn vorher als Geruchsstoff hinzugefügt haben. Dies dient der sensorischen Gefahrenabwehr, da die meisten Kohlenstoffverbindungen eigentlich geruchlos sind.

Im Grunde erzeugt die Brennstoffzelle nicht durch Verbrennung Energie, sondern dadurch, dass sie in einem **chemischen Prozess** Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser reagieren lässt und man die dabei frei werdende Energie nutzt.

Wasserstoff und Brennstoffzellen gelten als Zukunftstechnologien der Energiegewinnung. Die zu lösenden Probleme bestehen hauptsächlich in der Produktion und Lagerung des Wasserstoffs. Doch die Technologie lässt noch viel erwarten. Da Brennstoffzellen in beide Richtungen funktionieren, kann der Wasserstoff aus ebenderselben Zelle durch Zuführen von Strom durch Spaltung aus Wasser hergestellt werden. Ein schönes Denkmodell wäre zum Beispiel ein Wohnhaus mit Photovoltaik auf dem Dach und Brennstoffzelle im Keller. Am Tag wird der überschüssige solargewonnene Strom verwendet, um einen Tank voller Wasser in Wasserstoff aufzuspalten und nachts wird der Wasserstoff wieder in Wasser zurückgewandelt und dabei Strom erzeugt. Das ist eine Art sauberer „Wasserbatterie“, die sogar noch Raumwärme erzeugt.



Luftwechselrate (n) im Wohnungsbau

Im Wohnungsbau ist es mit den Luftwechselraten recht einfach. Der Gesetzgeber gibt für die gesetzlichen Energienachweise Luftwechselraten vor. Diese stellen einen maximal zu erwartenden Luftwechsel dar, der sich in Abhängigkeit der geplanten Dichtigkeit und technischen Ausstattung einstellen kann.

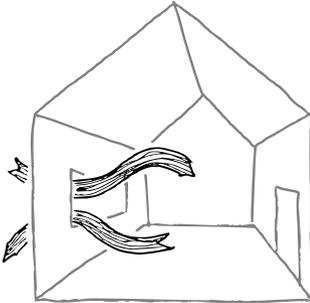
Hier zeigt sich dann auch gleich, warum wir Undichtigkeit heute gezielt planen und nicht mehr einfach zulassen. Würden wir wie früher einfach unkontrollierten Luftaustausch zulassen, könnten wir die **Wärmeverluste** von Gebäuden nicht begrenzen oder steuern. Damit wäre es kaum möglich, unsere Klimaziele im Gebäudesektor zu erreichen. Das Reduzieren von Verlusten ohne Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität bedarf heute der Planung.

Wenn wir uns vor Augen halten, dass die Undichtigkeit der Gebäudehülle eines Gründerzeitbaus zu einem 10-fachen Luftwechsel führte, wir aber zur Einhaltung aktueller Grenzwerte gerade mal 5–6 % davon zulassen, wird klar, dass wir heute anders bauen müssen.

Der Begriff der „Luftwechselrate“ läuft dem Architekten in der Regel bei den Vorgaben zum **Energienachweis** über den Weg, wird aber auch in anderen Bereichen angewendet. Wir müssen verstehen, dass dieser Begriff keine konkrete Luftmenge abbildet, sondern ein Verhältnis aus vorhandenem Luftvolumen und Austauschrate beschreibt.

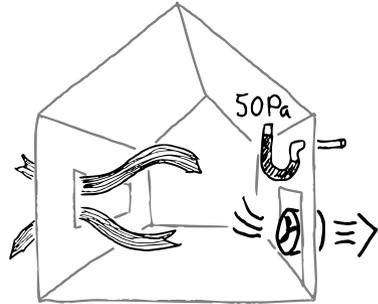
$n = 0,7$

OHNE DICHTHEITSPRÜFUNG



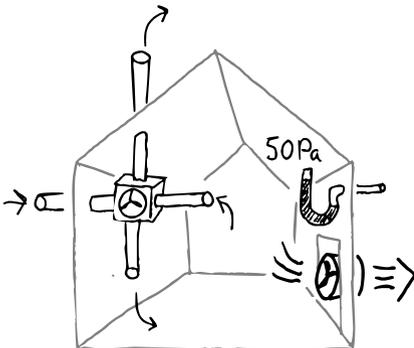
$n = 0,6$

MIT DICHTHEITSPRÜFUNG
FENSTERLÜFTUNG



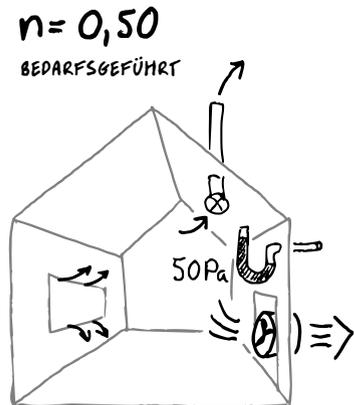
$n = 0,6$

MIT DICHTHEITSPRÜFUNG
ZU-/ABLUFANLAGE



$n = 0,55$

MIT DICHTHEITSPRÜFUNG
UND ABLUFANLAGE



Lüftungskonzept

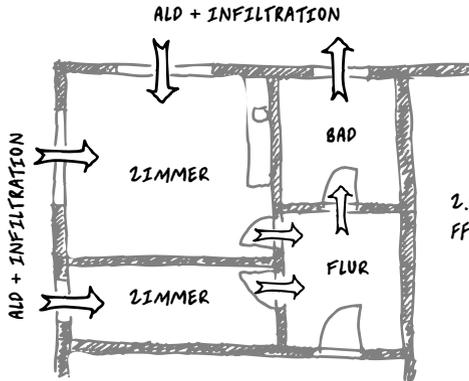
Im Wohnungsbau ist seit der Einführung der **EnEV 2014** die Erstellung eines Lüftungskonzepts vorgeschrieben. Die hohen Standards, die an die Gebäudehülle gestellt werden, um die Zielvorgaben der Energieeinsparung zu realisieren, konfrontieren uns mit bauphysikalischen Problemen besonders beim Feuchteschutz.

Vor 2014 überließ man dieses Problem den Bewohnern und verteilte Lüftungsanweisungen, wie und wann die Wohnungen zu lüften seien. Da dies aber nicht der Weisheit letzter Schluss sein konnte, besteht heute die Pflicht, einen Nachweis zu führen. Das Gebäude ist nutzerunabhängig, also ohne dass jemand Fenster öffnen muss, vor Feuchteanreicherung und damit Schimmel zu schützen.

Solch ein Lüftungskonzept muss die Berechnung des notwendigen Volumenstroms beinhalten, die freie Strömung innerhalb der Wohnung nachweisen und definieren, mit welchen technischen Lösungen oder Geräten Zu- und Abluft gewährleistet werden soll.

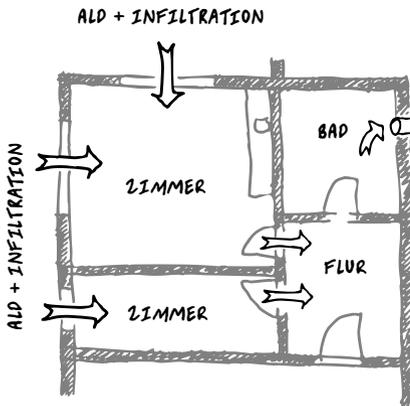
Im Grunde bedeutet dies rechnerisch nur, dass die Mindestlüftung zum Feuchteschutz je Wohnung oder abgeschlossener Wohneinheit zu berechnen ist. Anschließend kann von diesem Wert die Infiltration des Gebäudes abgezogen werden. Der restliche Volumenstrom ist planerisch und technisch zu gewährleisten.

- FREIE LÜFTUNG
 LÜFTUNG ZUM FEUCHTESCHUTZ
 - INFILTRATION
 = TECHNISCH ZU REALISIERENDE LÜFTUNG



Z.B. ALD (AUSSENWANDDURCHLASS),
 FFL (FENSTERFALTLÜFTER)

- MASCHINELLE LÜFTUNG
 VOLUMENSTROM NACH DIN 18017-3
 - INFILTRATION
 = ZU REALISIERENDE NACHSTRÖMUNG



R-80
 Z.B. BADENTLÜFTER MIT FEUCHTESENSOR

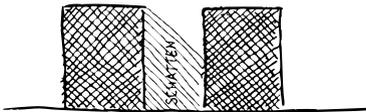
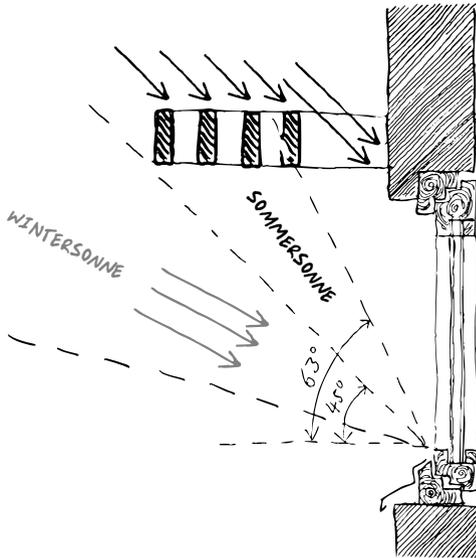
Sonnenschutz

Selbst das „schwerste“ Gebäude mit Durchzug in der Nacht stößt an seine Grenzen, wenn wir die Sonnenenergie tagsüber im Hochsommer ungehindert hineinlassen. Da es einen hohen Aufwand erfordert, überschüssige Wärme aus einem Gebäude wieder hinauszubekommen, gilt es, diese erst gar nicht hereinzulassen.

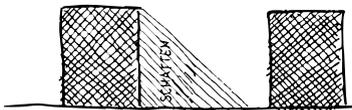
Es bedarf keines Energieaufwands, ein Gebäude vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Hingegen ist der Energiebedarf hoch, um Wärme aus dem Haus abzuführen. Daher sollte ein Gebäude so geplant werden, dass es dem Nutzer möglich ist, den Sonneneintrag im Sommer so stark wie möglich zu reduzieren. Man sollte jedoch dabei möglichst vermeiden, die solaren Gewinne im Winter zu reduzieren. Daher ist ein Sonnenschutz, der im Sommer und Winter verschieden wirksam ist, das intelligente Mittel der Wahl.

Da Sonnenschutzglas im Sommer und im Winter aktiv ist, bieten sich andere Verschattungsmaßnahmen an. So kann man Fenster durch bewegliche **Sonnenschutzeinrichtungen** schützen, wie etwa Markisen oder Jalousien, die man im Winter einfach einfährt. Auch Fensterläden, ob zum Schieben, Klappen oder Falten, bieten sich natürlich an.

Es gibt aber auch Möglichkeiten, den Sonnenwinkel zu nutzen, indem man Vordächer oder Sonnenbrecher plant, welche die Fenster vor der hohen Sommersonne schützen, aber die flache Wintersonne hineinlassen.



VERSCHATTUNG
DURCH STÄDTEBAU IM SÜDEN



LICHT, LUFT UND SONNE
IM NORDEN

06

Anhang

Formelzeichen und Einheiten

A	Flächen [m ²]
C_{p,l}	Wärmekapazität von Luft [Wh/kg K]
C_{wirk}	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit [J/K]
f_{wg}	Fensterflächenanteil [ohne Einheit]
g	Energiedurchlassgrad [ohne Einheit]
g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad [ohne Einheit]
H_T	spezifische Transmissionswärmeverluste [W/K]
H_T'	spezifische flächenbezogene Transmissionswärmeverluste [W/m ² K]
H_V	spezifische Lüftungswärmeverluste [W/K]
M	Masse [kg]
n₅₀	Luftwechselrate [n/h]
p	Druck [P]
P	Leistung [W]
Q_H	Jahresheizwärmebedarf [kwh/a]
Q_i	Interne Gewinne [kwh/a]
Q_S	Solare Gewinne [kwh/a]
Q_p	Jahresprimärenergiebedarf [kwh/a]
Q_p'	flächenbezogener Jahresprimärenergiebedarf [kwh/m ² a]
S_{vor}	vorhandener Sonneneintragskennwert [ohne Einheit]
S_{zul}	zulässiger Sonneneintragskennwert [ohne Einheit]

T	Temperatur [°C]
ΔT	Temperaturdifferenz [K]
U	Wärmedurchlasskoeffizient [Wh/m ² K]
V	Volumen [m ³] oder Volumenstrom [m ³ /h] oder Geschwindigkeit [m/s, km/h]
Θ_e	Norm-Außentemperatur [°C]
Θ_{int}	Norm-Innentemperatur [°C]
ρ	Dichte [kg/m ³]
ρ_L	Dichte von Luft [kg/m ³]
Φ_i	spezifische innere Wärmeleistung [W/m ²]
Φ_{RH}	Aufheizleistung [W]
Φ_S	Strahlungswärmegewinne [kWh/m ²]
Φ_T	Norm-Transmissionsverluste [W]
Φ_V	Norm-Lüftungsverluste [W]

Griechische Buchstaben

A, α	Alpha
B, β	Beta
Γ, γ	Gamma
Δ, δ	Delta
E, ε	Epsilon
Z, ζ	Zeta
H, η	Eta
Θ, θ	Theta
I, ι	Iota
K, κ	Kappa
Λ, λ	Lambda
M, μ	My
N, ν	Ny
Ξ, ξ	Xi
O, ο	Omikron
Υ, υ	Ypsilon
Φ, φ	Phi
Χ, χ	Chi
Ψ, ψ	Psi
Ω, ω	Omega

Die Bauklimatik ist eine wesentliche Stellschraube für die Entwicklung klimafreundlicher Gebäude. Sie behandelt im Grunde alles, was in der Planung von Gebäuden mit Klima zu tun hat. Auch wenn der Begriff der technischen Seite der Gebäudeplanung zugeschrieben wird, werden wesentliche Weichen im Entwerfen gestellt. Hier können das Gebäude im besten Winkel zur Sonne ausgerichtet, die Fenstergrößen definiert und die Materialwahl auf Grundlage der klimatischen Bedingungen getroffen werden. Doch wie viel bauklimatische Detailtiefe braucht der Entwerfer wirklich? Der Autor dieses Buches ist davon überzeugt, dass es für die richtigen Entscheidungen vor allem eines braucht: das Verständnis für grundlegende Zusammenhänge zwischen Energie, Technik und Klimawandel.

Ebendies vermittelt das vorliegende Buch für die Zielgruppe der entwerfenden Architekten in erfrischender Art und Weise. Mit großer Erleichterung wird der oder die Lesende komplexe technische Anforderungen und Normen auf nur einer Doppelseite anschaulich erklärt vorfinden. Dem Autor gelingt es, mit einer einfach verständlichen Sprache, kurzen Sätzen und kompakten Skizzen direkt anwendbares Praxiswissen zu vermitteln. Damit leistet das Buch einen wichtigen Beitrag dazu, angehende Architektinnen und Architekten zur Gestaltung klimafreundlicher Gebäude zu befähigen.

Dr. Christine Lemaitre, Geschäftsführender Vorstand DGNB e. V.
(Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

ISBN 978-3-89986-383-3



9 783899 863833