Pinpoint - Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen

von
Bruno Keller, Stephan Rutz, Iván Antón, Renato Bernasconi, Hannes Gebhard, Florian Guha, Philippe Günther, Eugen Magyari, Professur f. Bauphysik, ETH Zürich

überarbeitet

Pinpoint - Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen – Keller / Rutz / Antón / et al.

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

vdf Hochschulverlag 2011

Verlag C.H. Beck im Internet:
www.beck.de
ISBN 978 3 7281 3389 2

WÄRMEAUSTAUSCH INSTATIONÄR/DYNAMISCH

Temperaturdifferenz $\Delta\theta$: variabel
Wärmestrom q: variabel

Wärmeströme und gespeicherte Wärme sind unter diesen Bedingungen zeitlich variabel

wobei:
ρ: spezifische Dichte [kg/m^3]
c: spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
$c \cdot \rho$: spezifische Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m^{3}K]
λ: spezifische Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

TEMPERATURLEITFÄHIGKEIT a [m²/s]
materialspezifisch

Mass für die Reichweite einer Temperaturänderung

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \ [m^2/s]$$

WÄRMEEINDRINGZAHL b [kJ/m²Ks$^{1/2}$]
materialspezifisch

Mass für die mit dem Material ‹ausgetauschte› Wärme beim Ausbreitungsvorgang: hinein und heraus

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} \ \left[\frac{kJ}{m^2 \cdot K \cdot s^{1/2}}\right]$$

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:46 16.08.11 09:02

STOFFWERTTABELLE – DYNAMISCHE KENNGRÖSSEN a, $\sqrt{a}$, b

Material	ρ [kg/m²]	c [kJ/kgK]	$c \cdot \rho$ [kJ/m²K]	λ [W/mK]	$a = \lambda/c \cdot \rho$ [10^{-8}m²/s]	$\sqrt{a} = \sqrt{\lambda/c \cdot \rho}$ [10^{-4}m/s$^{1/2}$]	$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$ [kJ/m²·K·s$^{1/2}$]
Lehm massiv	1'700	0.90	1'530	0.90	59	7.67	1.17
Sand/Kies	1'900	0.80	1'520	0.70	46	6.79	1.03
Backstein	1'100	0.90	990	0.44	44	6.67	0.66
Optitherm	1'100	0.90	990	0.20	20	4.49	0.44
Kalksandstein	1'800	0.90	1'620	1.00	62	7.86	1.27
Gasbeton	500	1.00	500	0.13	26	5.10	0.25
Stahlbeton	2'400	1.10	2'640	1.80	68	8.26	2.18
Holz (Fichte)	480	2.10	1'008	0.14	14	3.73	0.38
Pavatherm	ca. 215	2.70	580	0.06	10.34	3.22	0.19
Polystyrol exp.	17	1.40	24	0.04	167	12.91	0.03
Steinwolle	ca. 80	0.60	48	0.04	83	9.11	1.38
Aluminium	2'700	0.90	2'430	200	8230	90.72	22.05
Kupfer	8'900	0.39	3'471	380	10'948	104.63	36.31
rostfreier Stahl	7'900	0.47	3'713	17	458	21.40	7.94
Glas	2'500	0.80	2'000	0.81	41	6.36	1.27
Hartgummi	1'200	1.42	1'704	0.16	9	3.06	0.52
Eis (< 0°C)	860	2.05	1'763	2.23	126	11.25	1.98
Wasser (10°C)	1'000	4.19	4'190	0.58	14	3.72	1.56
Luft (ruhend)	1.2	1.00	1.2	0.03	2500	50.00	0.01

ρ: spezifische Dichte [kg/m^3]
c: spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
$c \cdot \rho$: spezifische Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m^{3}K]
λ: spezifische Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
a: Temperaturleitfähigkeit [10^{-8}m²/s]
b: Wärmeeindringvermögen [kJ/m² K s$^{1/2}$]

siehe Anhang Seiten 230–239: Baustoffkennwerttabellen

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:47 16.08.11 09:02

A PERIODISCHE ANREGUNG = TEMPERATURWELLE
Temperaturschwankung an einer Schicht als Temperaturwelle ins Material hinein: Abnahme der Amplitude der Welle mit zunehmender Materialdicke

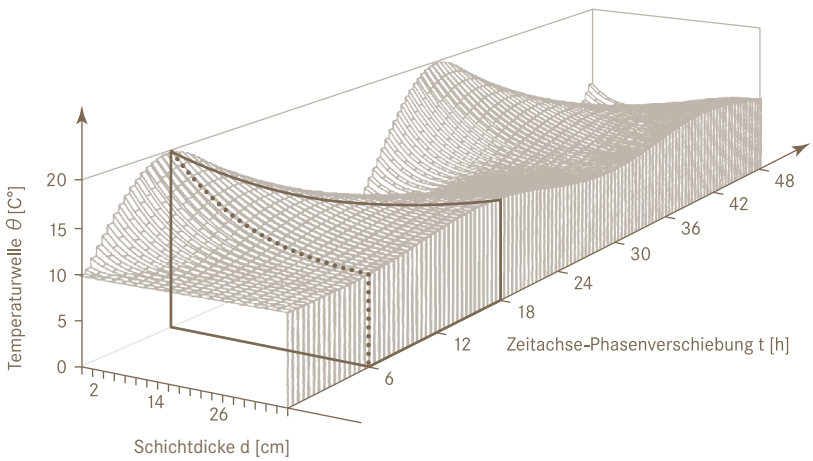
Phasenverschiebung
zeitlich verzögertes Eindringen der Temperaturschwankung mit zunehmender Materialtiefe

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:48 16.08.11 09:02

A PERIODISCHE ANREGUNG = TEMPERATURWELLE
Phasenverschiebung

Beispiel: Temperaturwelle in Beton



B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:49 16.08.11 09:02

PERIODISCHE ANREGUNG:
B EINDRINGTIEFE σ [m]
Mass für die Reichweite von Temperaturschwankungen (Wärmewellen) in eine Materialschicht hinein

Proportional zur Wurzel aus der Temperaturleitfähigkeit a:

σ [m] ≈ $\sqrt{a}$

somit:

$$\sigma = \sqrt{\frac{T \cdot \lambda}{\pi \cdot c \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{T}{\pi}} \cdot \sqrt{a}$$

Eindringtiefe σ_{24} für T = 1 Tag:
$\sigma_{24} = 165.8 \cdot \sqrt{a}$

Zeiteinheit Sekunden s;
T = 86'400 s = 24 h

Eindringtiefe σ_y für T = 1 Jahr:
$\sigma_y = 3168.3 \cdot \sqrt{a}$

Zeiteinheit Sekunden s;
T = 365 x 86'400 s = 31.5 Ms

Abnahme der Temperaturschwankungen
$\Delta\theta_{(x)} = \Delta\theta_0 \cdot e^{-\frac{x}{\sigma}}$

Abnahme bei Einwirkungstiefe d:
d = σ: 36.7% (e^{-1}) der Anregung
d = 2σ: 13.5% (e^{-2}) der Anregung
d = 3σ: 5.0% (e^{-3}) der Anregung

d.h. nach einer Materialschicht der Dicke
d = 3σ ist eine Schwankung fast nicht mehr bemerkbar

ENERGIEMENGE Q_T [J/m²]
Mass für die Energiemenge, welche pro Periode T und pro m² in das Material hinein- und wieder herausfliesst = Speicherung und Abgabe

$$Q_T = 2 \cdot \sqrt{\frac{T}{2\pi} \cdot \rho \cdot c \cdot \lambda} \cdot \Delta\theta = 2 \cdot \sqrt{\frac{T}{2\pi}} \cdot b \cdot \Delta\theta$$

Energiemenge Q_{24}
für T = 1 Tag:
Zeiteinheit Sekunden s; T = 86'400 s
$Q_{24} = 2 \cdot 117.3 \cdot b \cdot \Delta\theta$

Energiemenge Q_y
für T = 1 Jahr:
Zeiteinheit Sekunden s; T = 365 x 86'400 s
$Q_y = 2 \cdot 2240.3 \cdot b \cdot \Delta\theta$

Beispiel für Stahlbeton
Tagestemperaturamplitude $\Delta\theta$ = 6K
Temperaturleitfähigkeit a = 68 · 10^{-8} [m²s]
Wärmeeindringzahl b = 2.18 [kJ/m² · K · $s^{½}$]

Eindringtiefe Tagesschwankung
$\sigma_{24} = 165.8 \cdot \sqrt{a} = 165.8 \cdot \sqrt{68 \cdot 10^{-8}} = 0.136$ m

Eindringtiefe Jahresschwankung
$\sigma_y = 3168.3 \cdot \sqrt{a} = 3168.3 \cdot \sqrt{68 \cdot 10^{-8}} = 2.61$ m

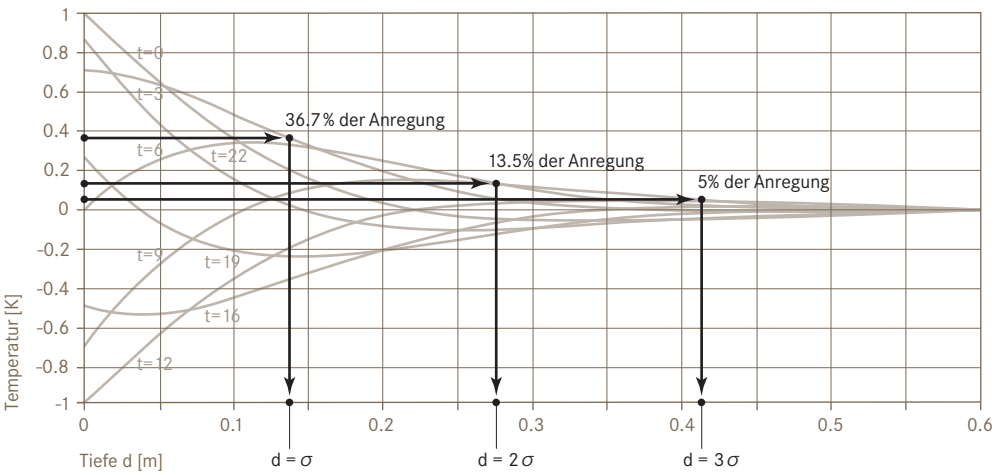
Tagesenergiemenge Q_{24}
$Q_{24} = 2 \cdot 117.3 \cdot 2.18 \cdot 6 = 6137.1$ kJ/m² ≙ 3.1 MJ/m²

siehe Anhang: Baustoffkennwerttabellen

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:50 16.08.11 09:02

B EINDRINGTIEFE σ [m] – ABNAHME BEI EINWIRKUNGSTIEFE d
‹Schnittzeichnung› der Anregungswelle in die Wand hinein, Beispiel Beton



B EINDRINGTIEFE σ [m]
verschiedener Materialien

Material	Bauübliche Schichtdicke d [m]	Temperatur-leitfähigkeit a [10^{-8} m²/s]	Eindringtiefe σ [m]	
			T [s] = 1 Jahr (31'536'000 s)	T [s] = 1 Tag (86'400 s)
Holz (Fichte)	0.05	14	1.18	0.062
Pavatherm	0.05	10	1.00	0.052
Backstein	0.30	44	2.10	0.110
Optitherm	0.475	20	1.42	0.074
Kalksandstein	0.15	62	2.50	0.131
Beton (Stahl-)	0.20	68	2.61	0.137
Gasbeton	0.50	26	1.62	0.065
Polystyrol	0.12–0.3	167	4.09	0.214
Steinwolle 80 kg/m³	0.12–0.3	83	2.89	0.151
Foamglas	0.12–0.3	44	2.10	0.110
Stahl		1528	12.39	0.648
Aluminium		8'230	28.74	1.504

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:51 16.08.11 09:02

PERIODISCHE ANREGUNG:
C DYNAMISCHE WÄRMEKAPAZITÄT C [J/m²K]

Flächenbezogenes Mass für Wärmeaufnahmevermögen = Speicherkapazität [J/m²K] eines Materials mit der Schichtdicke d

1. Falls Materialschicht dünner als

$$d \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma$$

Wärmekapazität C [J/m²K]
→ abhängig von Schichtdicke d

$C = c \cdot \rho \cdot d$ [J/m²K]

wobei:
c: spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
ρ: spezifische Dichte [kg/m³]
$c \cdot \rho$: spezifische Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m³K]
d: Materialschichtdicke [m]

2. Falls Materialschicht dicker als

$$d \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma$$

Wärmekapazität C [J/m²K]
→ unabhängig von Schichtdicke d

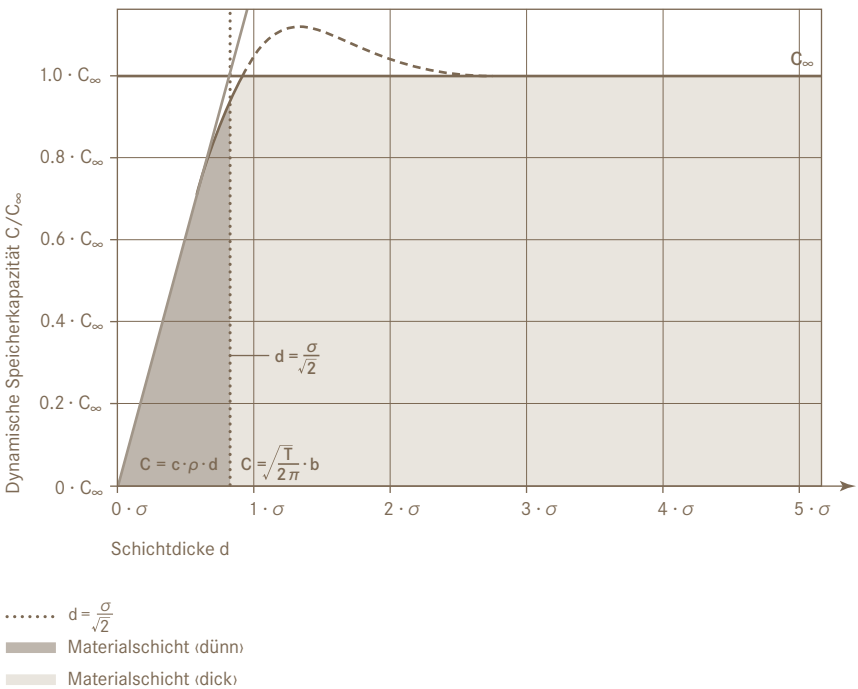
$$C = \sqrt{\frac{T}{2\pi}} \cdot b \text{ [J/m²K]}$$

wobei:
T: Zeit [s]
b: spezifisches Wärmeeindringvermögen [kJ/m² K s$^{1/2}$]

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:52 16.08.11 09:02

C DYNAMISCHE WÄRMEKAPAZITÄT C [J/m²K]



B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:53 16.08.11 09:02

DYNAMISCHE KENNGRÖSSEN EINES RAUMES

Das thermisch-dynamische Verhalten eines Raumes ist durch folgende drei Grössen vollständig bestimmt:

VERLUSTFAKTOR K [W/m²K]

$$K' = \sum_i A_i \cdot U_i + n \cdot V \cdot \frac{(c \cdot \rho)_{Luft}}{3600}$$

$$\cong \sum_i A_i \cdot U_i + \frac{1}{3} \cdot n \cdot V \quad [W/K]$$

A_i: Fläche der Aussenflächenelemente
U_i: U-Werte der Aussenflächenelemente
n: Luftwechsel bedingt durch Luftinfiltration [h^{-1}]
V: Raumvolumen

Massgebend ist der Verlustfaktor K [W/m²K] bezogen auf die Summe der Aussenflächen

$$K = \frac{K'}{\sum_i A_{e\,i}} \quad \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

STRAHLUNGSEMPFANGSFLÄCHE A'$_{ST}$ [m²]

$$A'_{ST} = \sum_i A_{tr\text{-}i} \cdot g_i$$

$A_{tr\text{-}i}$: Flächen der transparenten Aussenelemente, Verglasungen etc.
g_i: Gesamtenergiedurchlassfaktoren der transparenten Elemente

MITTLERE STRAHLUNGSDURCHLÄSSIGKEIT G [–]

Massgebend ist die mittlere Strahlungsdurchlässigkeit G der Strahlungsempfangsfläche A'$_{ST}$ bezogen auf die Summe der Aussenflächen A_e

$$G = \frac{A'_{ST}}{\sum_i A_{e\,i}}$$ [–] mittlere Strahlungsdurchlässigkeit

DYNAMISCHE WÄRMEKAPAZITÄT C [J/m²K]

$$C' = \sum_n A_n \cdot C_n \quad \left[\frac{J}{K}\right]$$

A_n: Innenoberflächen
C_n: spezifische Wärmespeicherfähigkeit der Innenelemente

Massgebend ist die spezifische Wärmekapazität C des Raumes, bezogen auf die Summe der Aussenflächen A_e

$$C = \frac{C'}{\sum_i A_{e_i}} \quad \left[\frac{J}{m^2K}\right]$$

In sehr guter Näherung darf dafür das auf eine 24h-Periode bezogene dynamische Speichervermögen genommen werden.

Dabei sind nur die Schichten von innen her bis zum Auftreten einer Dämmschicht ($\lambda \leq 0.1$ W/mK) zu berücksichtigen.

Verhältnis der Beiträge zum Speichervermögen von Bauteilen:
70% Geschossdecken
20% Innenwände
10% Aussenwände

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:90 16.08.11 09:03

TYPISCHE WÄRMEKAPAZITÄT C
folgender Bauweisen auf die Grundfläche bezogen:

Bauweise	Material	Wärmekapazität C [kJ/m²K]
Leicht	‹Holz›	150
Misch	Betondecke, Backsteinwand	600
Schwer	‹Beton›	900

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:91 16.08.11 09:03

KOMBINATIONEN DER GRUNDGRÖSSEN

Massgebend für die Temperaturentwicklung eines Raumes:

VERLUSTFAKTOR K
siehe Seite 90

massgebend für die Leistung von Heizen und Kühlen und damit für den thermischen Energiebedarf bestimmend

GEWINNFAKTOR γ [K/W· m²]

$$\gamma = \frac{G}{K} = \frac{A'_{ST}}{K'} = \left[\frac{K}{W/m^2}\right]$$

→ ‹Solare Temperaturkorrektur›
durch die Einstrahlung bewirkte Korrektur der Aussentemperatur

ZEITKONSTANTE τ [s,h]

$$\tau = \frac{C}{K} = \frac{C'}{K'} = [s,h]$$

→ Thermische Trägheit des Raumes

LEERLAUFTEMPERATUR LLT

Klimacharakteristikum eines Raumes
Der Temperaturverlauf eines Raumes über ein Jahr ohne aktive Beeinflussung durch Heiz- oder Kühlelemente wird als Leerlauftemperatur LLT bezeichnet.

Diese kann auch durch innere Quellen und den Einsatz von variablen Sonnenschutzelementen beeinflusst werden.

A OPTIMIERUNG DER LEERLAUFTEMPERATUR LLT
Ein Raum verhält sich dann optimal, wenn seine Leerlauftemperatur möglichst häufig im Komfortbereich verläuft.

Die optimale Ausnutzung der eingestrahlten Sonnenenergie erfolgt durch eine klimabezogene Optimierung von
Gewinnfaktor γ → Strahlungsempfangsfläche
und Zeitkonstante τ → Aufnahme- oder Reaktionsvermögen

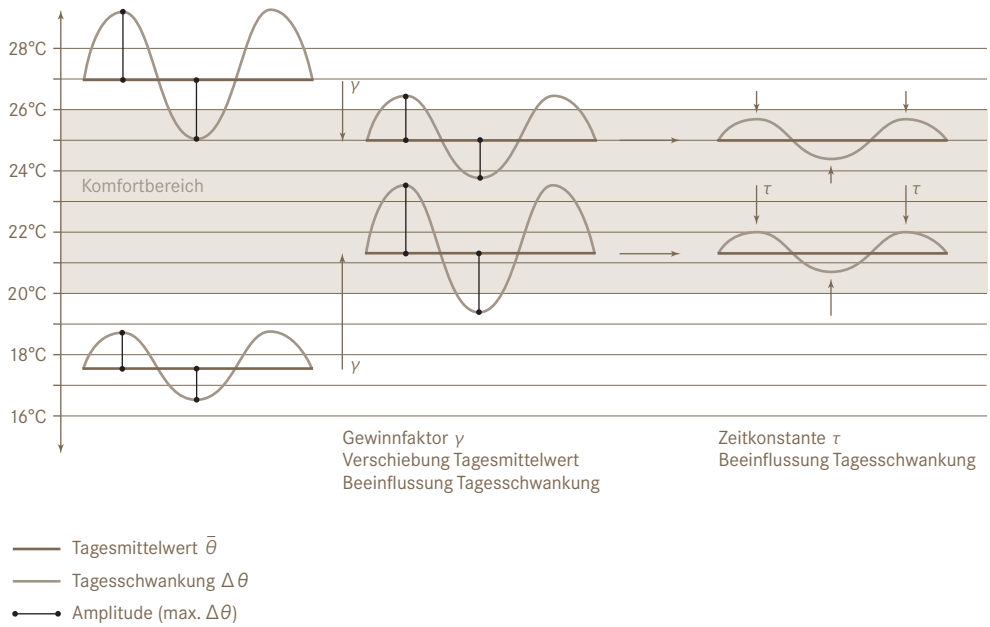
Gewinnfaktor γ
→ Strahlungsempfangsfläche
verschiebt den Tagesmittelwert der LLT und beeinflusst gleichzeitig die Grösse der Tagesschwankung der LLT

Zeitkonstante τ
→ Aufnahme- oder Reaktionsvermögen
beeinflusst nur die Grösse der Tagesschwankungen der LLT

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:92 16.08.11 09:03

A OPTIMIERUNG DER LEERLAUFTEMPERATUR LLT in den Bereich der Komfortzone



B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:93 16.08.11 09:03

ENERGY DESIGN GUIDE I

OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEHÜLLE IN DER FRÜHPHASE

Der ‹Energy Design Guide I› dient zur Umsetzung von rechnerischen Bestwerten in architektonisch relevante Grössen wie Bauweise, Verglasungsanteil, Verglasungsqualität für einen niedrigen Energieverbrauch.
Der ‹Energy Design Guide I› erlaubt eine rasche Optimierung der Gebäudehülle.
Der thermische Bedarf wird jedoch nicht berechnet.

Frühzeitige energetische Optimierung
Da er zur Berechnung nur die drei Grössen
Verlustfaktor K
Fenstergrösse/Verglasungsqualität
Bauweise
benötigt, eignet er sich sehr für die optimale Planung schon in der Frühphase.

Optimierungspotential von 80–90%,
welches durch die Konzentration auf die allerwesentlichsten Faktoren bereits ausgeschöpft werden kann. So erübrigt sich häufig der Einsatz komplexer Simulationsprogramme in späteren Phasen.

www.energy-design-guide.ch
www.pinpoint-online.ch

A KLIMABEZOGENE ENERGETISCHE OPTIMIERUNG EINES RAUMES

1. Mache immer und überall den Verlustfaktor K so klein wie möglich:
Wärmedämmung
Wärmeschutz- oder low-e-Verglasung
Luftdichtigkeit

2. Wähle die optimale Kombination von Gewinnfaktor γ und Zeitkonstante τ nach Klima und Himmelsrichtung:
Energy Design Guide I → Klimadiagramme

Die beste Kombination von Gewinnfaktor γ und Zeitkonstante τ ist dadurch gekennzeichnet, dass die Leerlauftemperatur LLT die grösste Anzahl von Stunden im Behaglichkeitsbereich von 20–26°C bleibt:
Nullenergiestunden N_0
(ZEH = Zero Energy Hours)

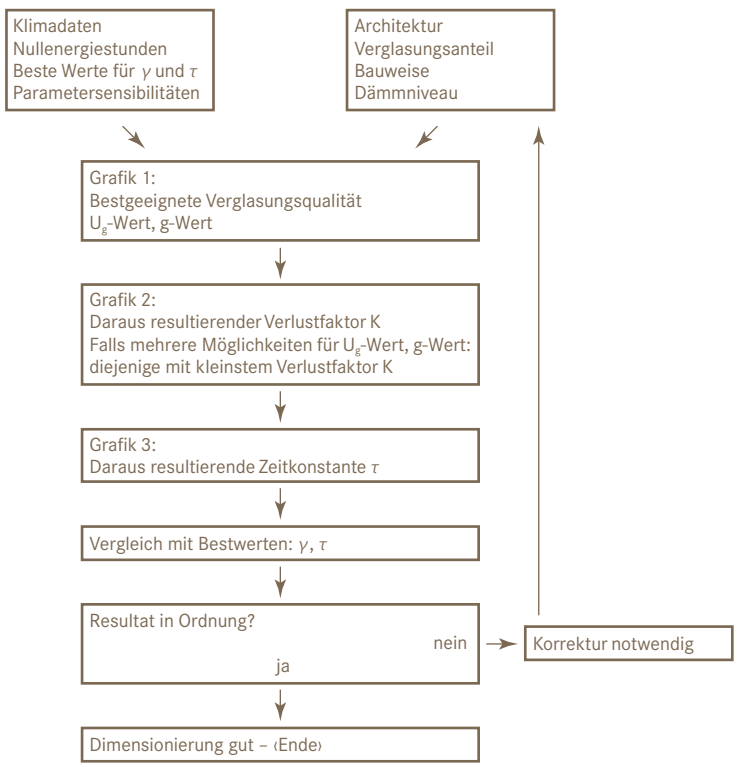
3. Aus dem besten Wert von Gewinnfaktor γ kann je nach Raum und Verglasungsanteil f die zu wählende Verglasungsqualität abgelesen werden:
U_g-Wert: Wärmedurchgangskoeffizient [W/m^{2}K]
g-Wert: Gesamtenergietransmissionsgrad [–]

siehe Beispiele Seiten 96–99

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:94 16.08.11 09:03

A KLIMABEZOGENE ENERGETISCHE OPTIMIERUNG EINES RAUMES
Vorgehensschema für transparente Bauelemente



B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:95 16.08.11 09:03

ENERGY DESIGN GUIDE I – BEISPIEL

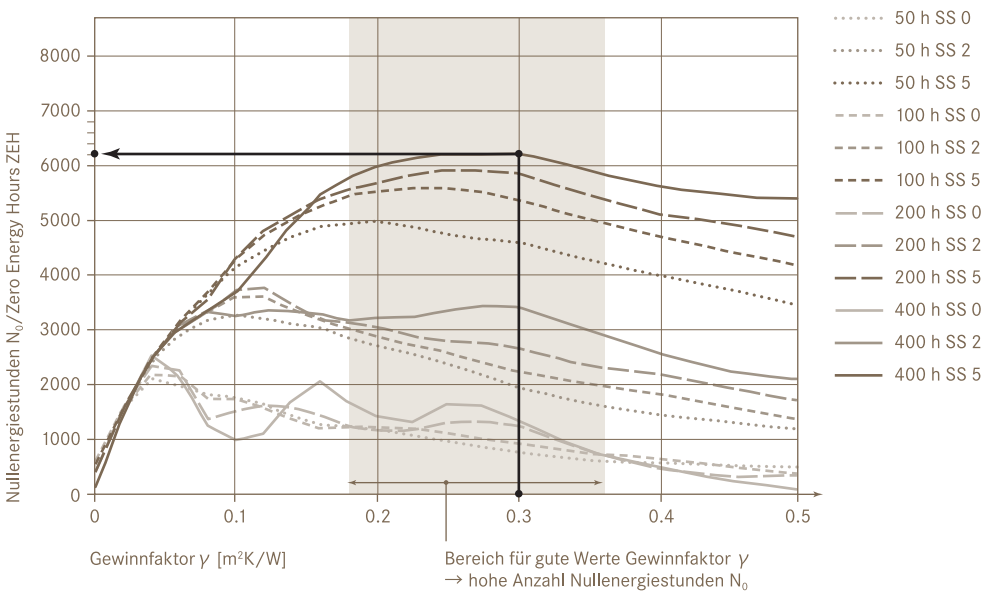
Eingabe 1:
Ort → Basel, Südfassade

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:96 16.08.11 09:03

BESTE KOMBINATION AUS GEWINNFAKTOR γ UND ZEITKONSTANTE τ: Grösste Anzahl Nullenergiestunden N_0

Ausgabe 1: Klimadiagramm
Basel Süd, ohne innere Quellen



Kurvenverläufe für Nullenergiestunden N_0 mit
Zeitkonstante τ: 50 h, 100 h, 200 h, 400 h
Sonnenschutz SS: SS 0 = ohne, SS 2 = innerer, SS 5 = äusserer

Resultat
Grösstmögliche Anzahl Nullenergiestunden N_0 auf der Südseite in Basel:
~ 6'200 N_0 bei einer Zeitkonstante τ = 400 h und mit einem äusseren Sonnenschutz SS 5
(Reduktion der Einstrahlung auf ⅕)

Bester Wert für γ bei 0.3 → Möglichkeit 1
Bereich guter Werte für den Gewinnfaktor γ bei 0.18 bis 0.36 → Möglichkeit 2:
Auswahlbereich für den gewünschten Verglasungsanteil

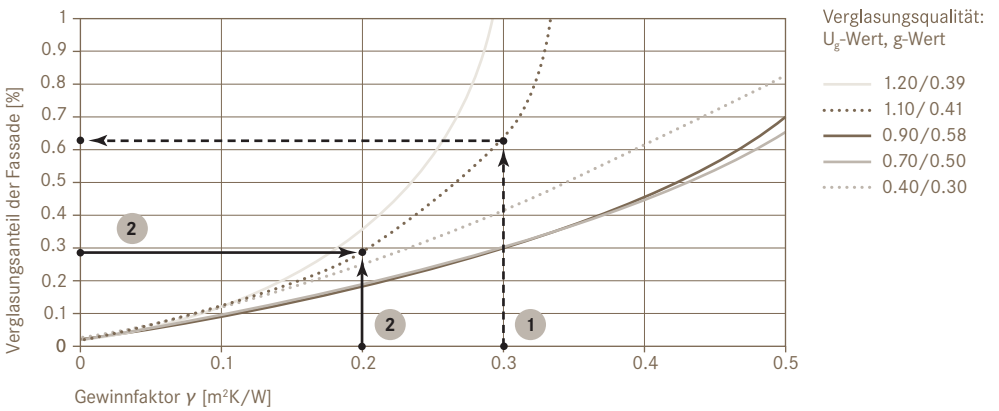
B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:97 16.08.11 09:03

Eingabe 2:
Angaben zu einem Raum an der Südfassade

U_w: U-Wert Wand (nichttransparent) 0.2 W/m²k
V: Raumvolumen 108.0 m³
A_e: gesamte Aussenfläche 24.3 m²
A_{GR}: Grundfläche 36.0 m²
n: Luftwechselzahl 0.1 h⁻¹

Ausgabe 2:
Grafik 1: Bester Gewinnfaktor γ → Verglasungsanteil der Fassade



1 Möglichkeit 1
Übertrag bester Gewinnfaktor $\gamma = 0.3$ aus Klimadiagramm ergibt Verglasungsanteil von ca. 0.62 bei entsprechender Verglasungsqualität: $U_g = 1.1$ W/m²K; g-Wert = 0.41 [–]

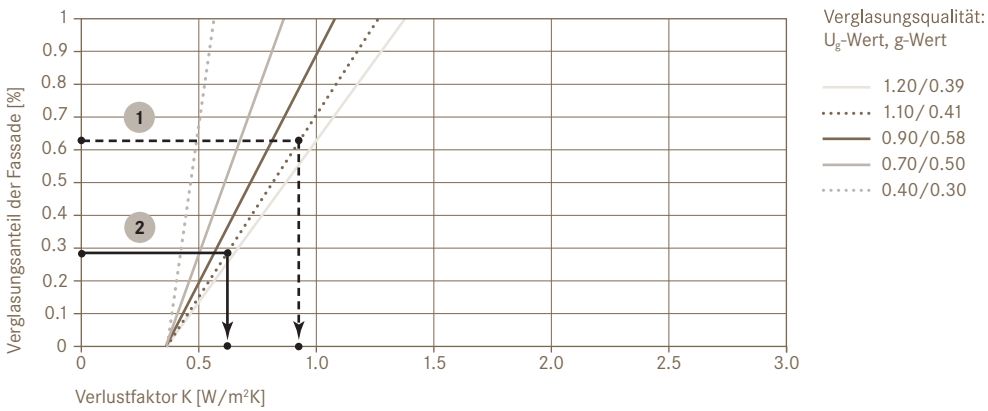
2 Möglichkeit 2
Gewünschter Verglasungsanteil der Fassade von ca. 0.28
→ Kombination mit bestem Gewinnfaktor γ (Auswahlbereich)
→ Bestimmung notwendiger Verglasungsqualität, in diesem Fall kann dieselbe Verglasung eingesetzt werden: $U_g = 1.1$ W/m²K; g-Wert = 0.41 [–]

Diskussion:
Die Kurven der Leerlauftemperatur LLT im Klimadiagramm (Seite 93) zeigen einen Bereich von Lösungsmöglichkeiten an, welcher für den architektonischen Ausdruck ausgenützt werden kann: Der Verglasungsanteil der Fassaden kann innerhalb des dargestellten Bereichs frei festgelegt werden, wobei bereits die dazu energetisch erforderliche Verglasungsqualität mittels der verschiedenen Kurven überprüft werden kann. → Grafik 1
Die energetischen Konsequenzen werden aufgezeigt → Grafik 2
Die Resultate können betreffend der Wahl der Konstruktionsart zwischen Leichtbau und Massivbau interpretiert werden. → Grafik 3

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

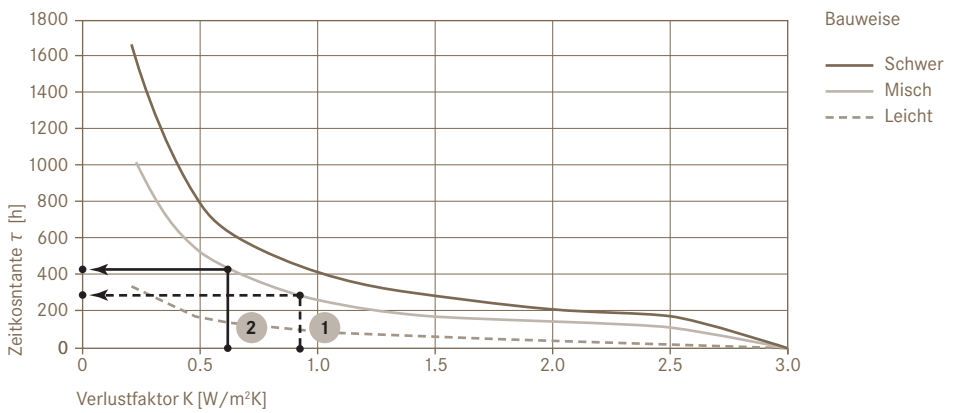
RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:98 16.08.11 09:03

Grafik 2: Verglasungsanteil der Fassade → Verlustfaktor K (respektive K')



1 Verglasungsanteil der Fassade 0.62 ergibt mit der gewählten Verglasungsqualität den Verlustfaktor K ~ 0.90
2 Der gewünschte Verglasungsanteil von 0.28 mit der entsprechenden Verglasungsqualität ergibt einen tieferen Verlustfaktor K von ~ 0.65; energetisch die bessere Lösung

Grafik 3: Verlustfaktor K → Zeitkonstante τ



Möglichkeit 1: Zeitkonstante τ = 290 h bei Mischbauweise: Lösung im akzeptablen Bereich
Möglichkeit 2: Zeitkonstante τ = 420 h bei Mischbauweise: Zielwert erreicht

B. Keller, S. Rutz: Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

RZ_Pinpoint_D_110815.indd Abs1:99 16.08.11 09:03