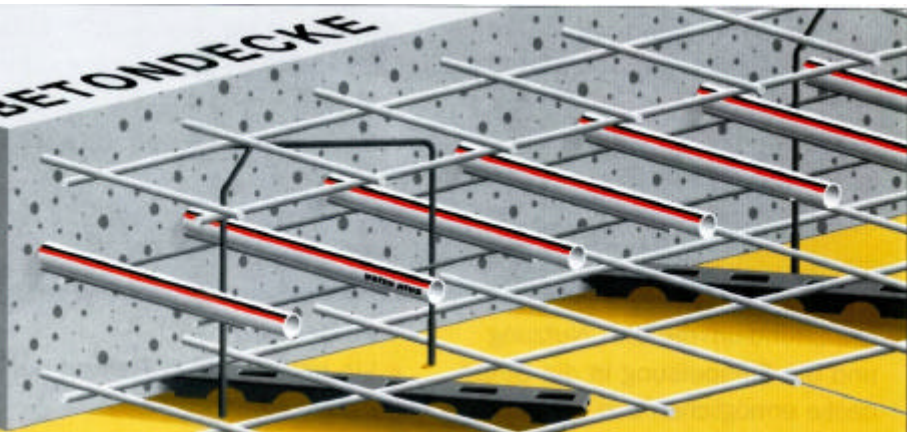
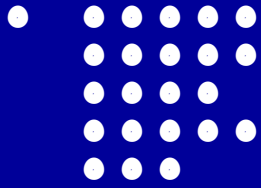


„Heizen und Kühlen am Beispiel der Betonkernaktivierung“



**Prof. Dr.-Ing.
Klaus SOMMER
Fachhochschule Köln**



FACHHOCHSCHULE KÖLN

Institut für Technische Gebäudeausrüstung

Prof. Dr.-Ing. Klaus Sommer, verantwortlich für das Fachgebiet Heiztechnik

Fakultät 09

Institut für Technische
Gebäudeausrüstung

Betzdorfer Str.2
50679 Köln

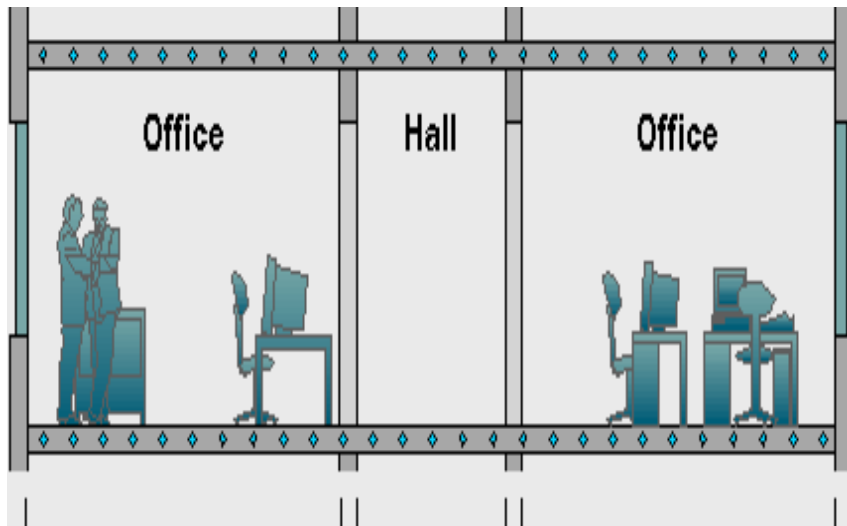


Ingenieurwissenschaftliches Zentrum
Köln-Deutz

Übersicht

- Einführung
- Das wärmetechnische Verhalten der Betonkernaktivierung am Beispiel der Büroraum-Kühlung
- Analyse der EnEV aus der Sicht der Betonkernaktivierung

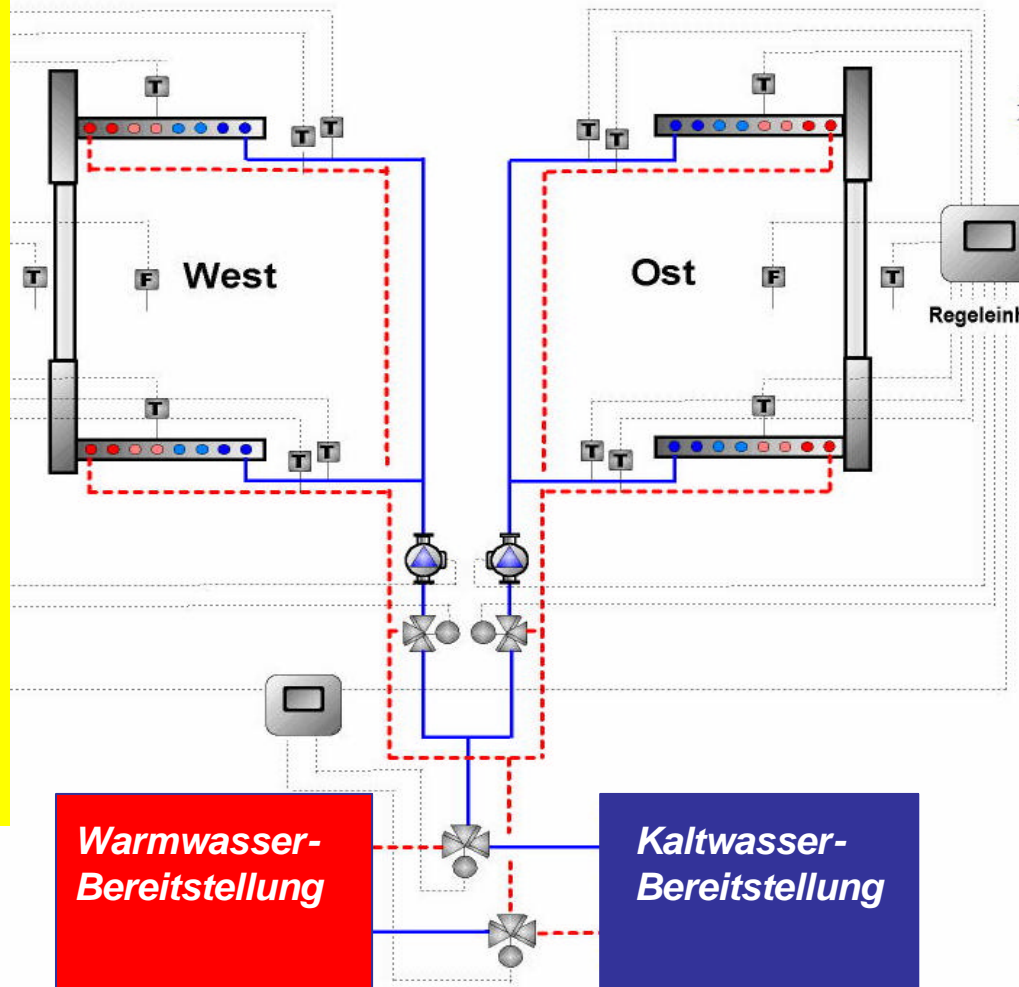
Betonkernaktivierung: Einführung



- Ein neuer Trend, der in den frühen 90er Jahren in der Schweiz startete (Meierhans)
- Nutzung der thermischen Speicherkapazität von Betondecken mehrgeschossiger Gebäude zum Heizen und Kühlen.

Betonkernaktivierung: Einführung

- Wasser führende Rohrleitungen in der Mitte der Betondecke
- Infolge der Speichermasse Senkung der Leistungsspitze und zeitliche Verschiebung hin zu Zeiten außerhalb der Raumnutzung



Betonkernaktivierung: Einführung



ABC-Bogen, Hamburg

- moderaten Kühllasten (30-60 W/m²)

- Geeignet für Bürogebäude mit geringen Heizlasten (10-30 W/m²) und



Kunsthaus Bregenz

Beispiele aus der Praxis z. B.:

- www.velta.de
- www.polytherm.de
- www.zent-frenger.de
- www.termica.de

Das wärmetechnische Verhalten der Betonkernaktivierung am Beispiel der Büroraum-Kühlung

Verwendete Literatur siehe Anhang unter (1)

Über „www.velta.de“ erhältlich !!

Professor Dr.-Ing. Klaus Sommer

Untersuchung verschiedener Regelstrategien für die Betonkernaktivierung mit Hilfe der Computersimulation

Co-Autoren: Professor Dr.-Ing. Bjarne W. Olesen
Björn Düchting, VDI-TGA

Kurzfassung

Wegen des hohen Energieverbrauchs und der hohen Energiekosten diskutieren verschiedene europäische Länder, ob die Klimatisierung von Gebäuden empfehlenswert ist oder per Gesetz verboten werden sollte. Natürlich gibt die Klimatisierung eine bessere Regelung der Raumtemperatur und verbes-

1 Einleitung

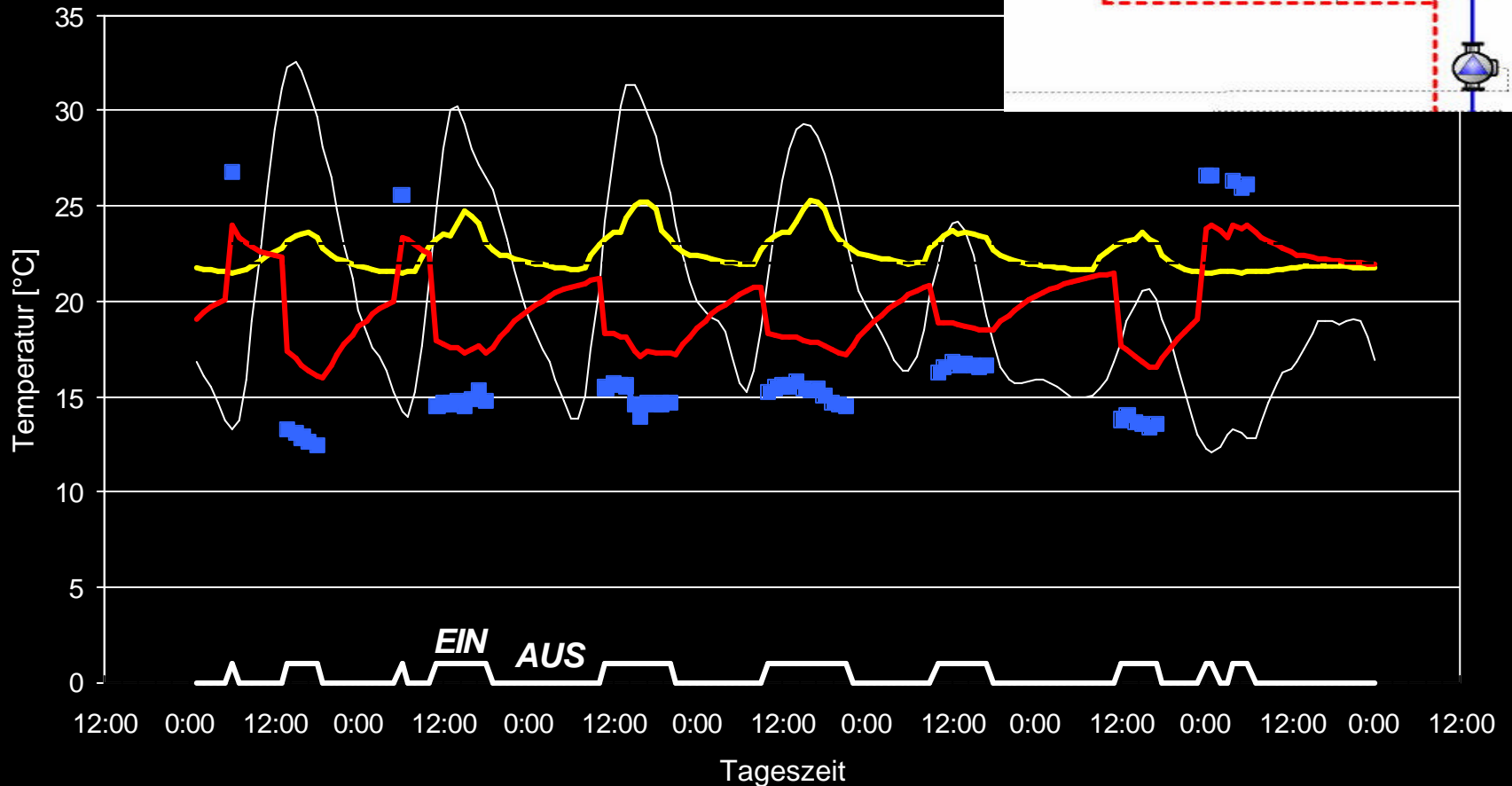
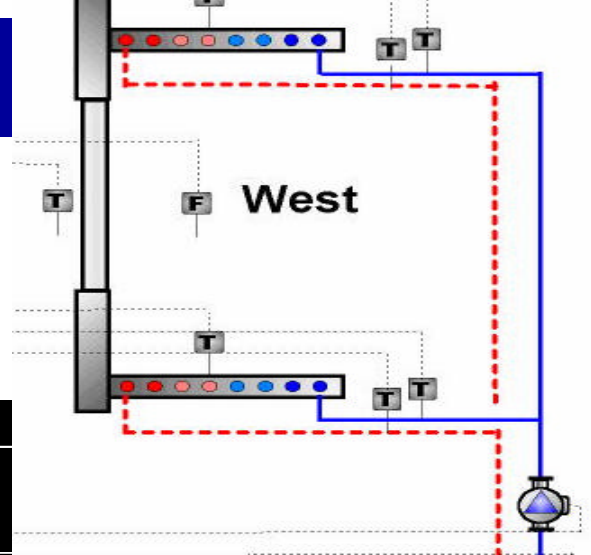
Ein neuer Trend, der in den frühen 90er Jahren in der Schweiz startete (Meierhans, 1993 und 1996), ist die Nutzung der thermischen Speicherkapazität der Betondecken mehrgeschossiger Gebäude zum Heizen und Kühlen dieser Gebäude. Die Wasser führenden Rohrleitungen sind in der Mitte der Betondecke positioniert. Durch das Aktivieren der Gebäudemasse ergibt sich nicht nur ein direkter Heiz- bzw. Kühleffekt, sondern infolge der thermischen Masse auch ein Absenken der Lastspitzen und ein teilweises Verschieben dieser Last hin zu Zeiten, in denen keine Raumnutzung vorliegt. Da diese Systeme mit Wassertemperaturen nahe der Raumtemperatur betrieben werden, erhöhen sie die Effizienz von Wärmepumpen, Grundwasser-Wärmetauschern und anderen Systemen, die erneuerbare Energiequellen nutzen.

Diese Systeme werden hauptsächlich eingesetzt in mehr-

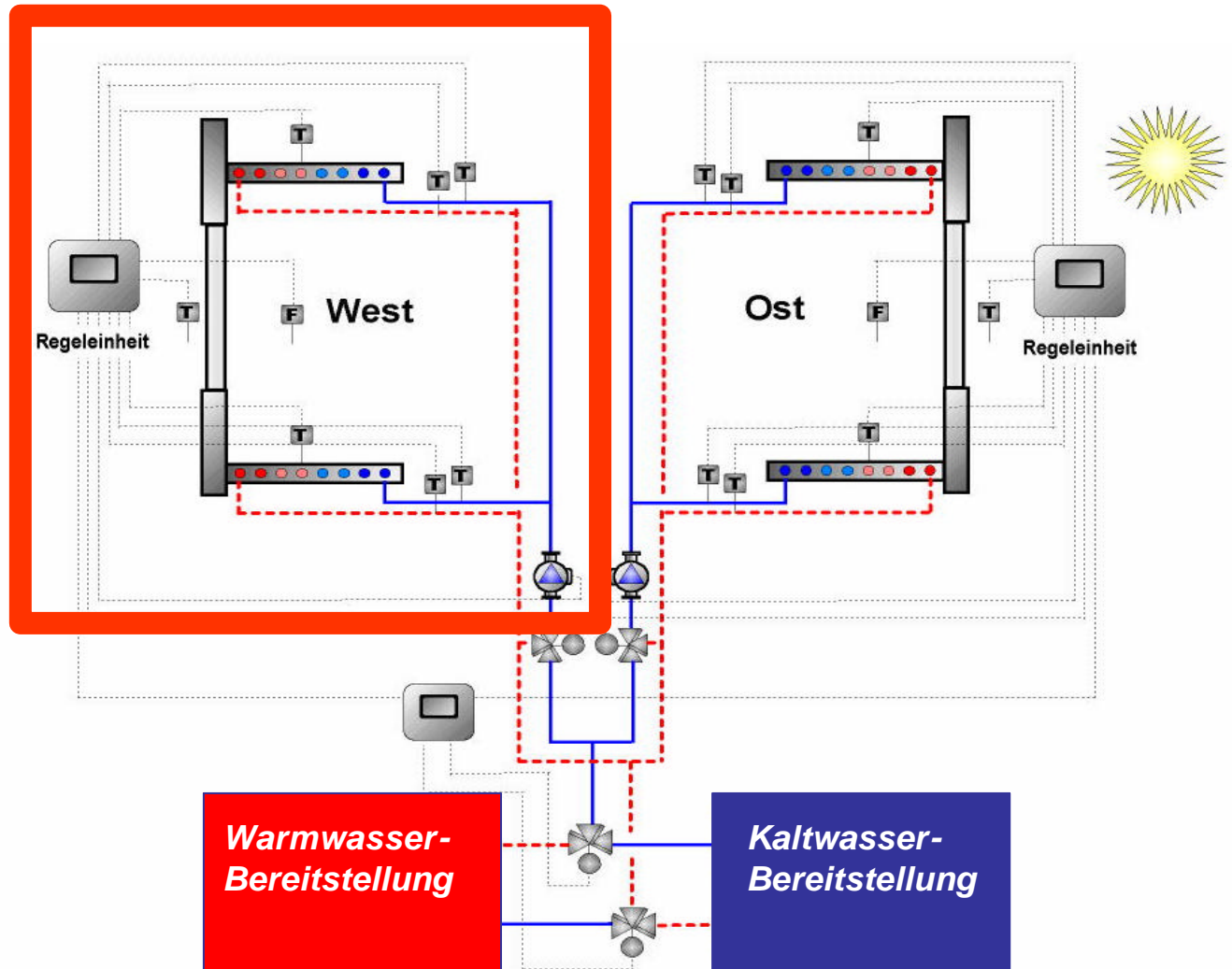
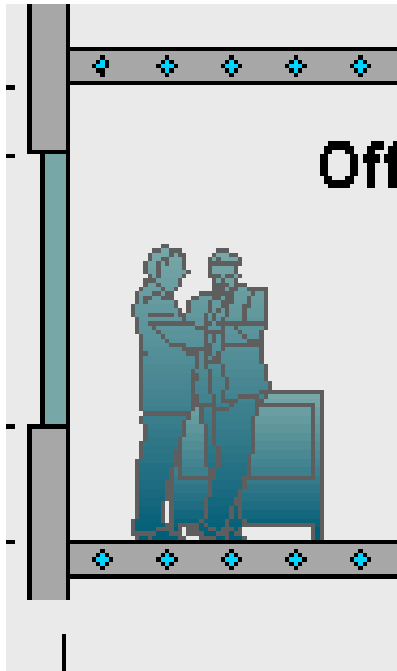
Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

**Mittlere Wassertemperatur nach der Außentemperatur.
24-Stunden-Betrieb der Betonkernaktivierung**



Das wärmetechnische Verhalten: Ausgangssituation



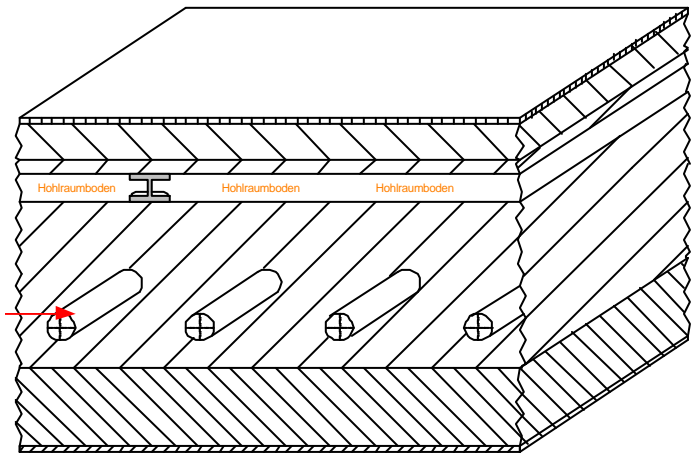
COMPUTER - SIMULATION



SOFTWARE:

- TRNSYS 14.2
 - Softwarepaket zur Modellierung und dynamischen Simulation von Energiesystemen
 - 1974 am Solar Energy Laboratory der University of Wisconsin, Madison, USA entwickelt
 - Modularer Programmaufbau
 - Leistungsstark, transparent, erweitererbar

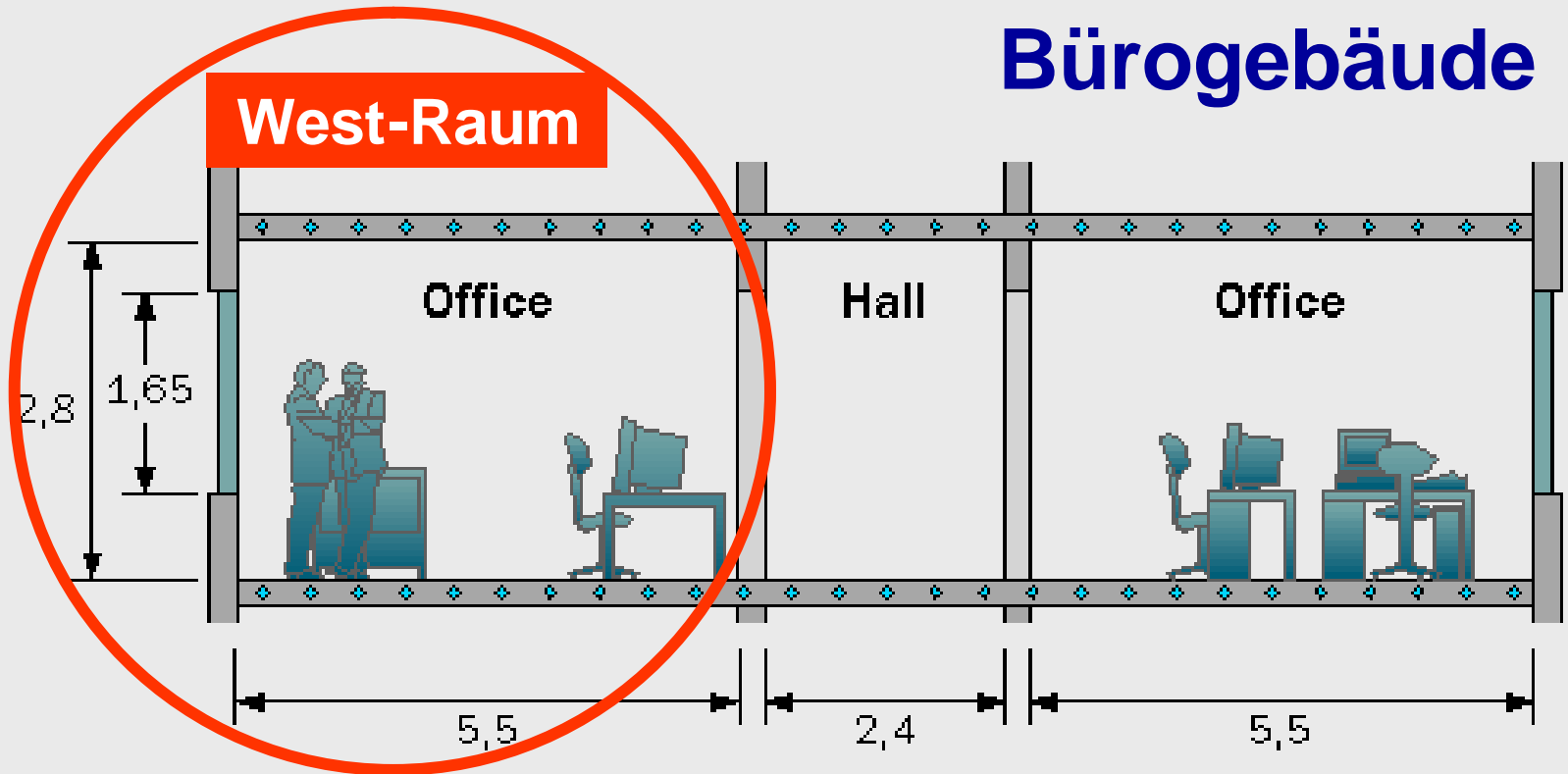
BETONKERN- AKTIVIERUNG



ZUSÄTZLICHES SOFTWARE- MODUL:

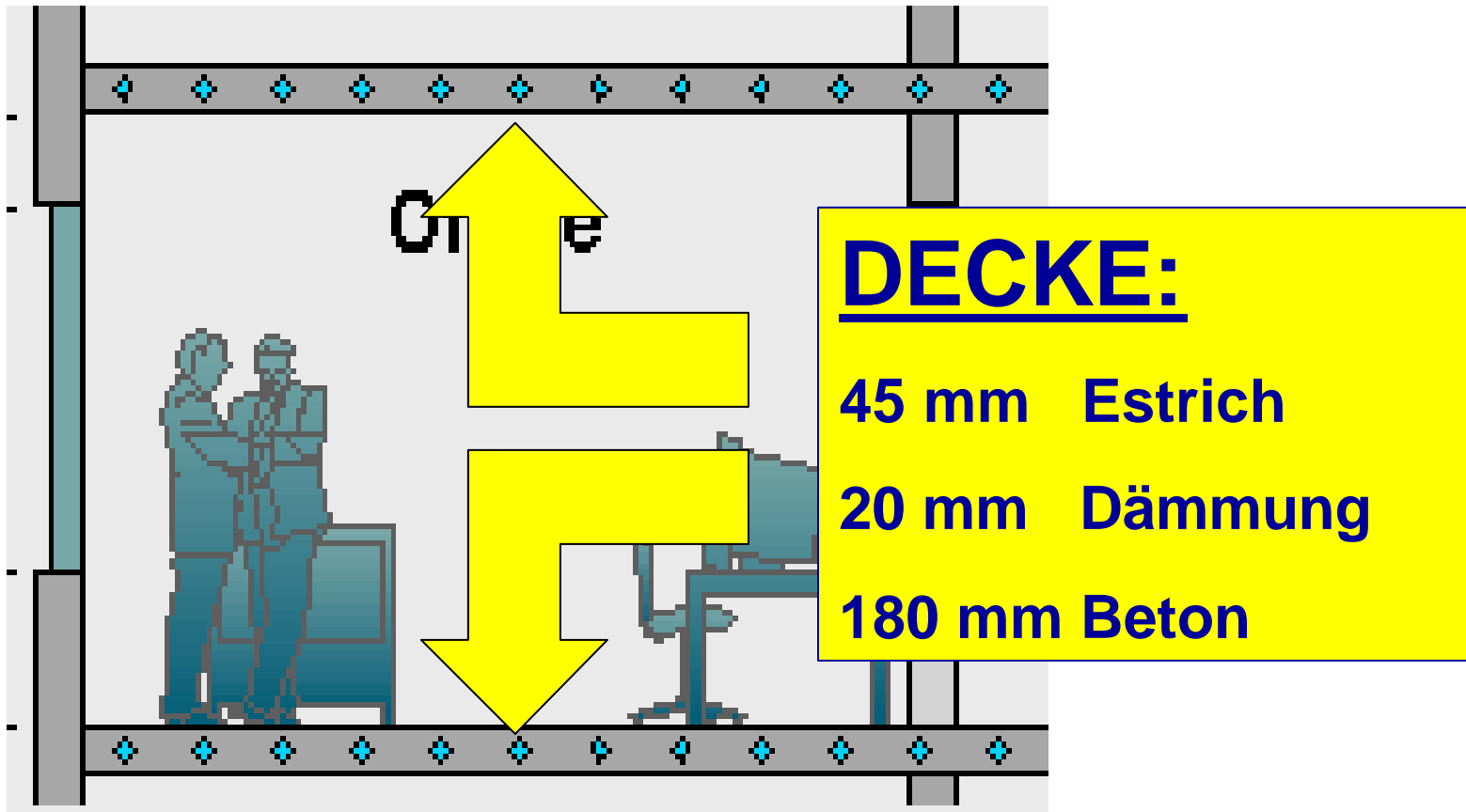
- Type 160
 - Fußboden-Wasserheizung/
Hypokauste (K.Fort/ S.Holst)
 - Diese Modell beschreibt das
dynamische thermische
Verhalten und basiert auf der
Methode der finiten Differenzen

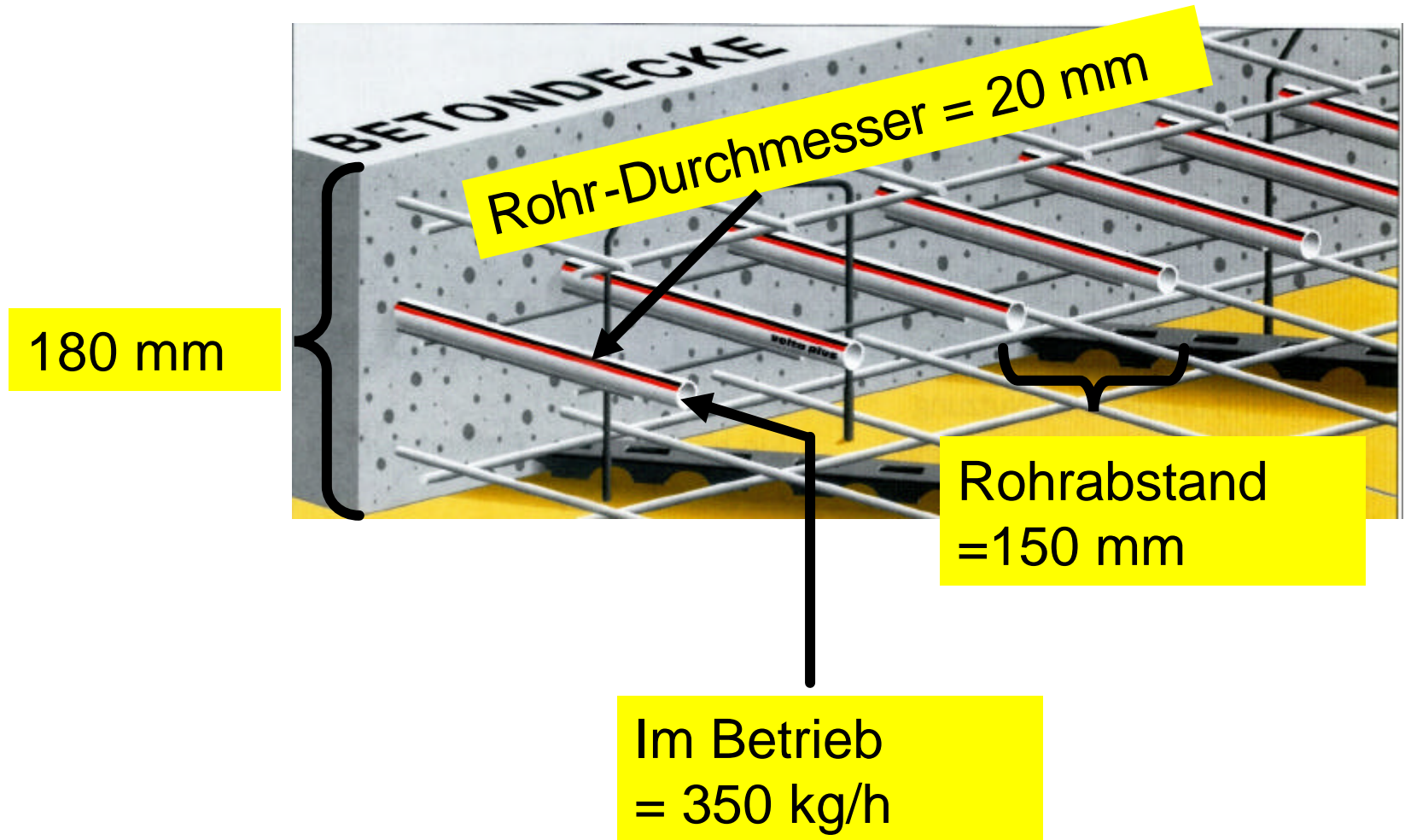
Bürogebäude

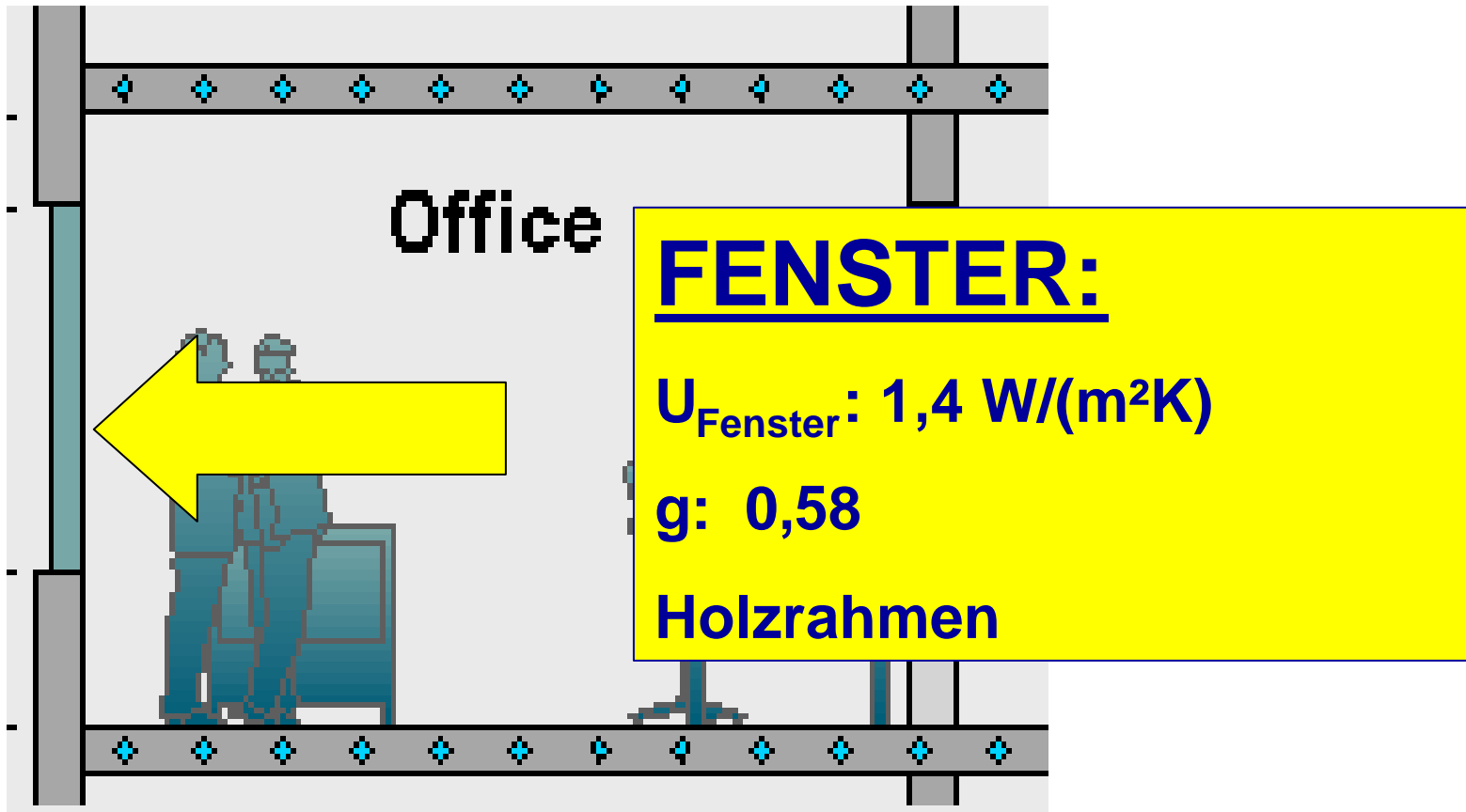


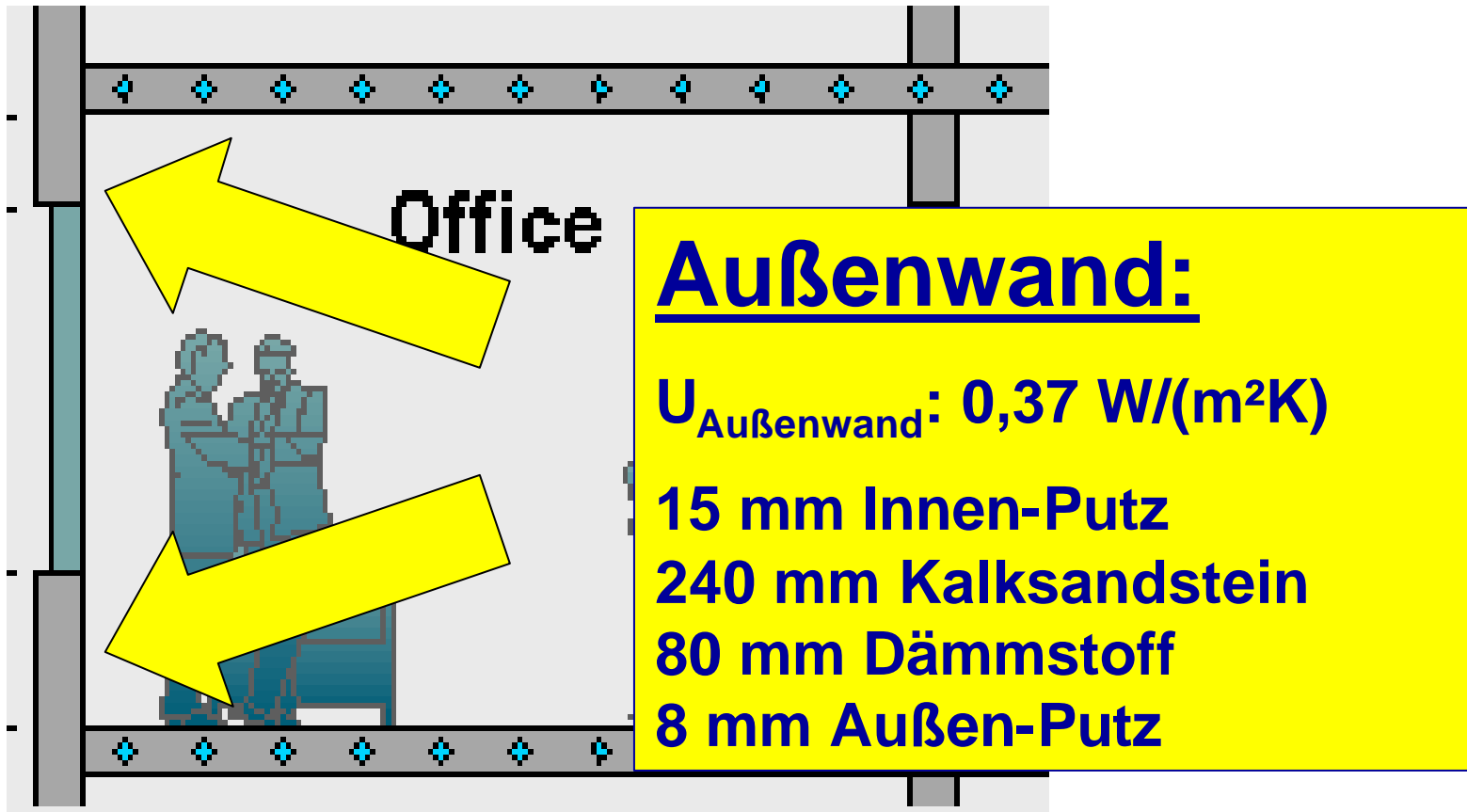
Raumbreite: 3,6 m

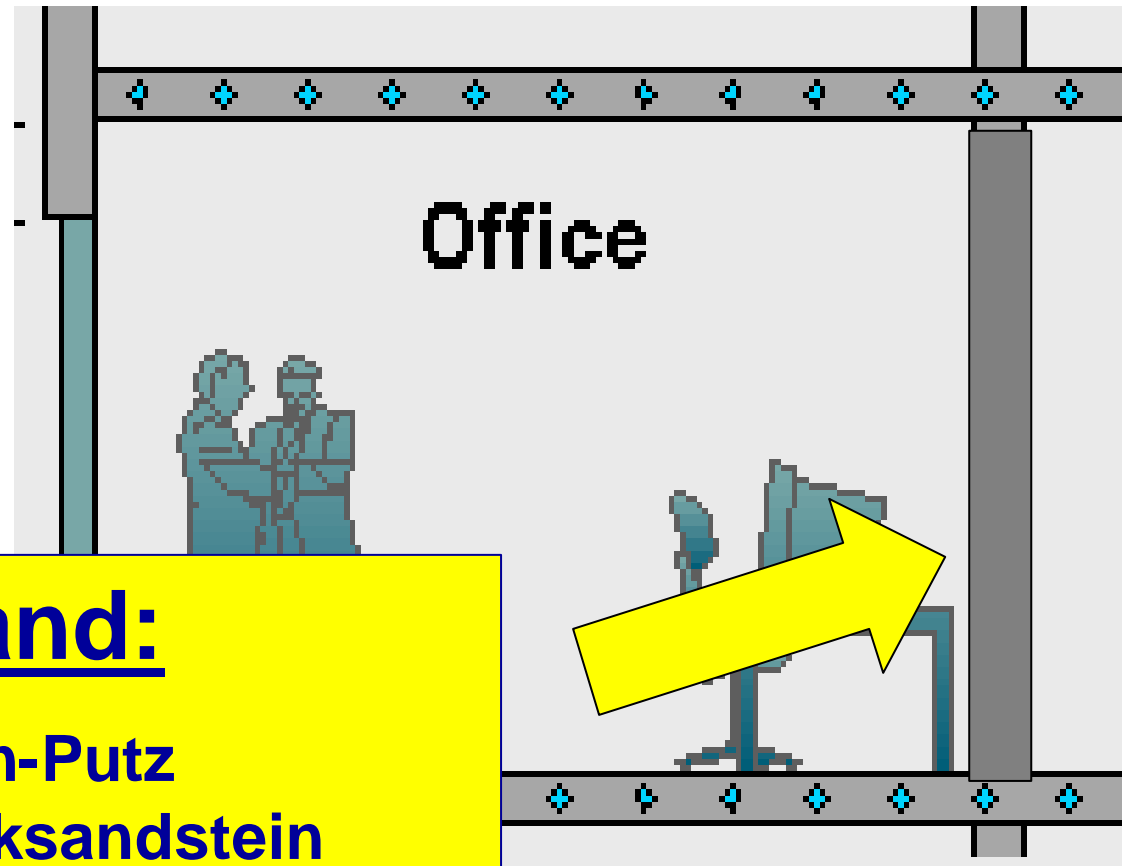
Fensterflächenanteil: 50%











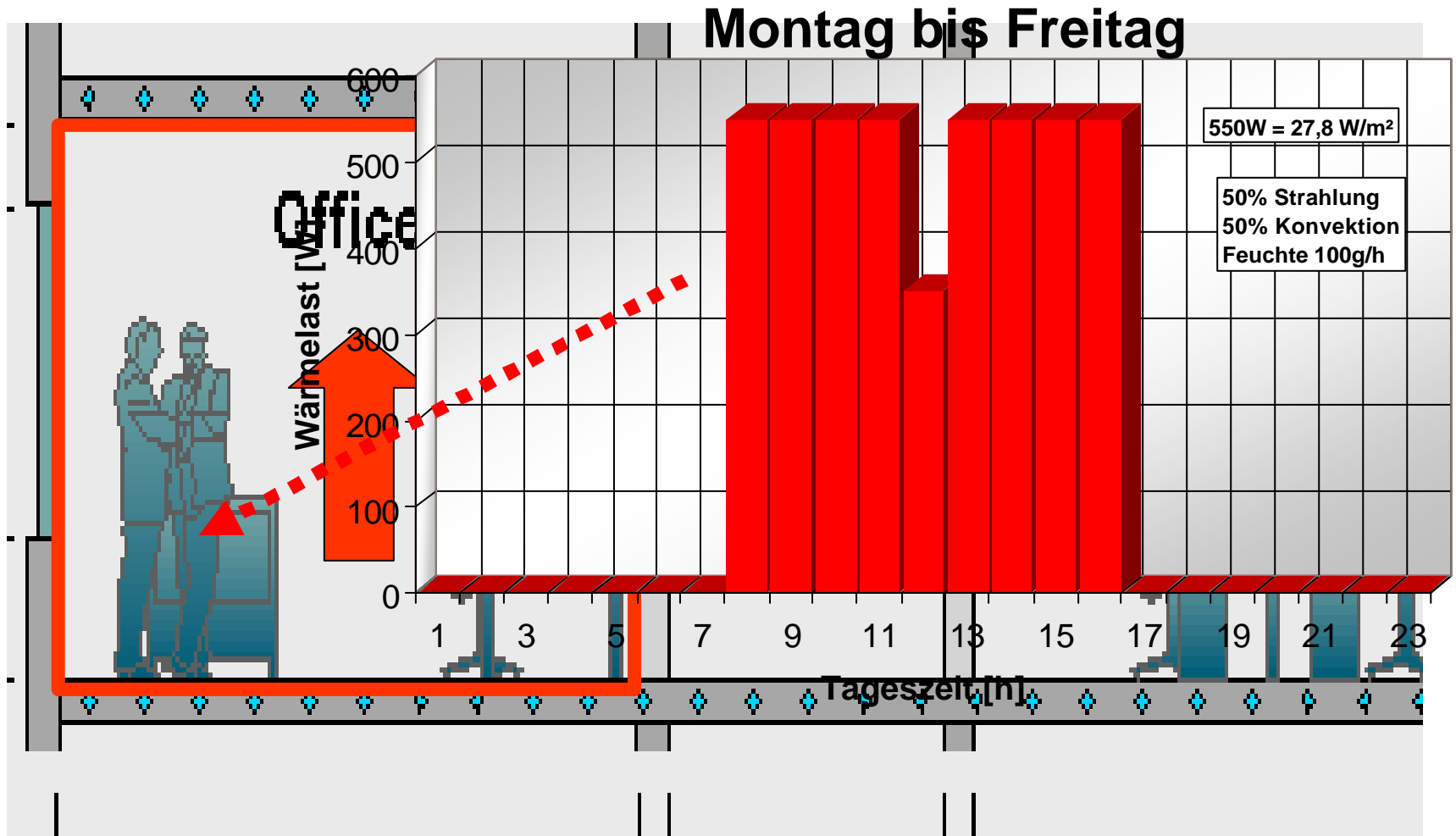
Innenwand:

15 mm Innen-Putz

115 mm Kalksandstein

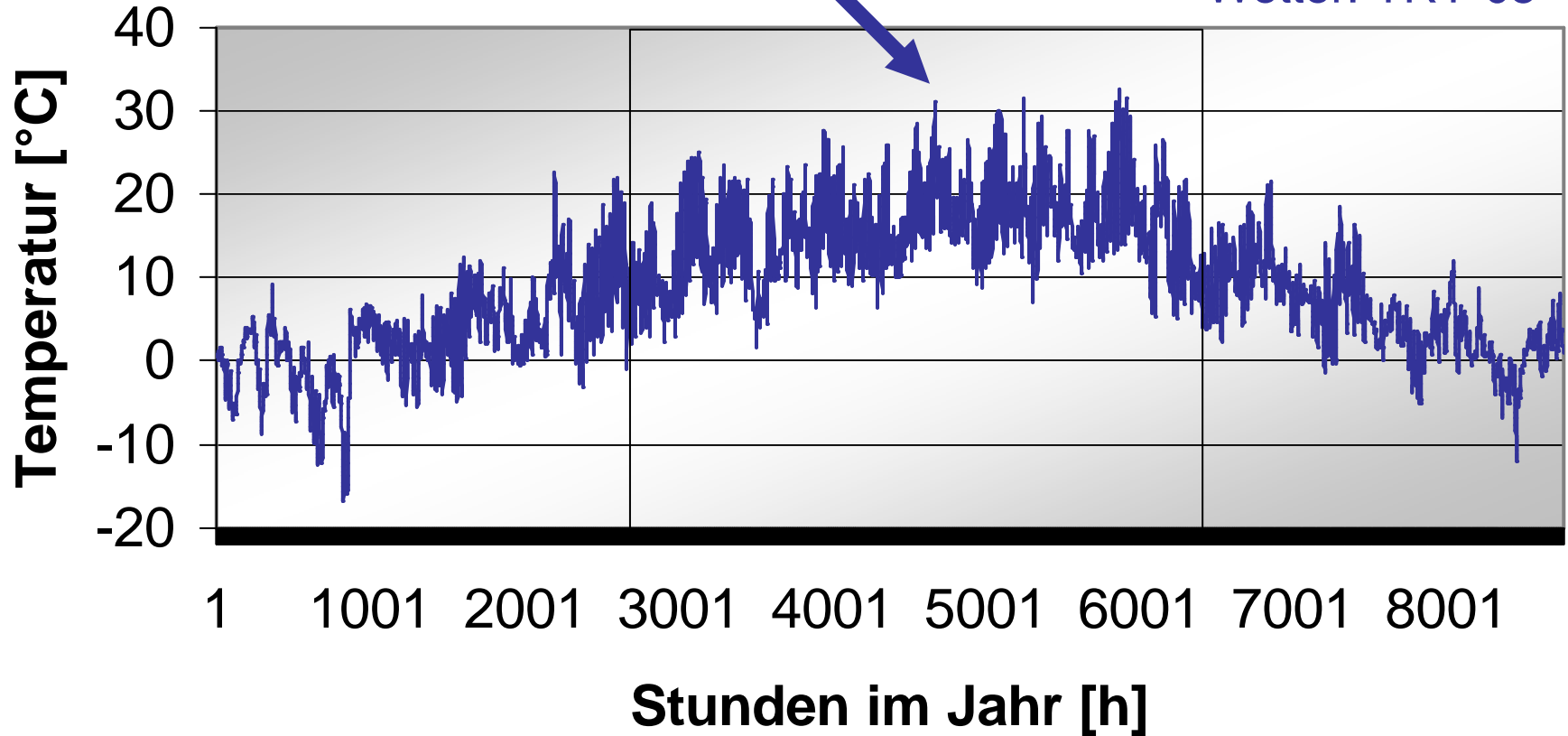
15 mm Innen-Putz

Das wärmetechnische Verhalten: Methode



*Untersuchter Zeitraum:
1. Mai bis 30. September*

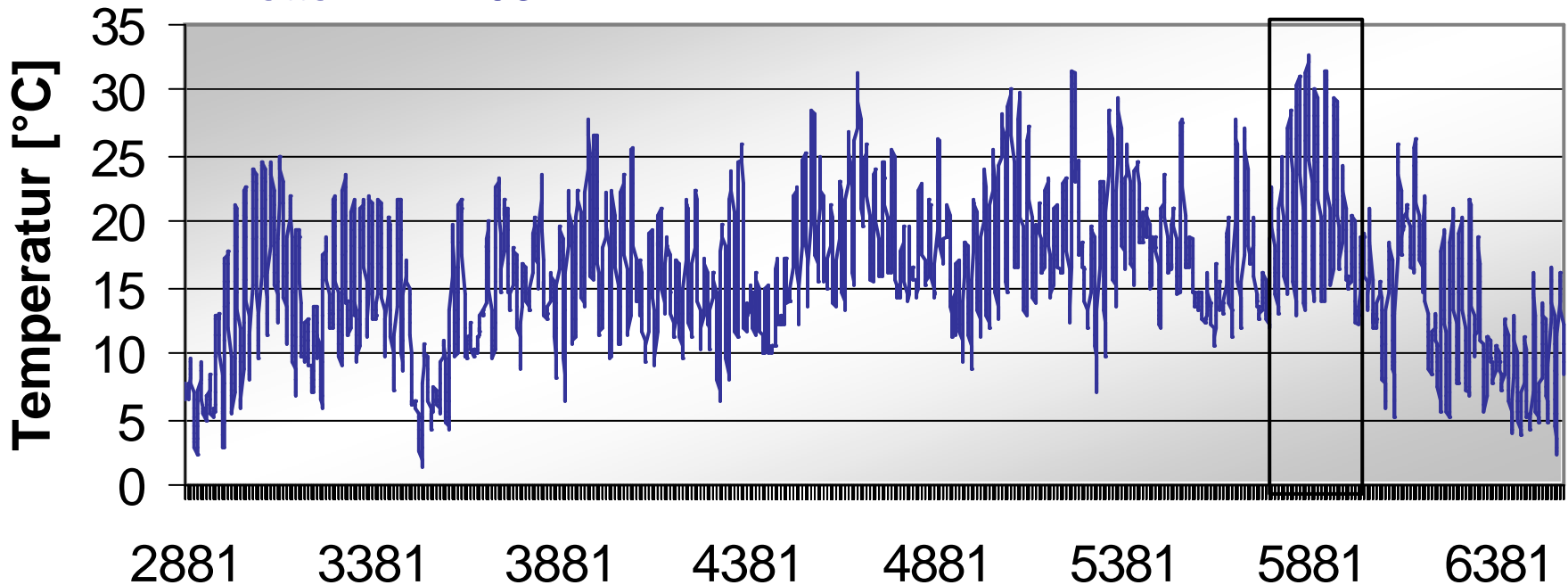
Wetter: TRY 05



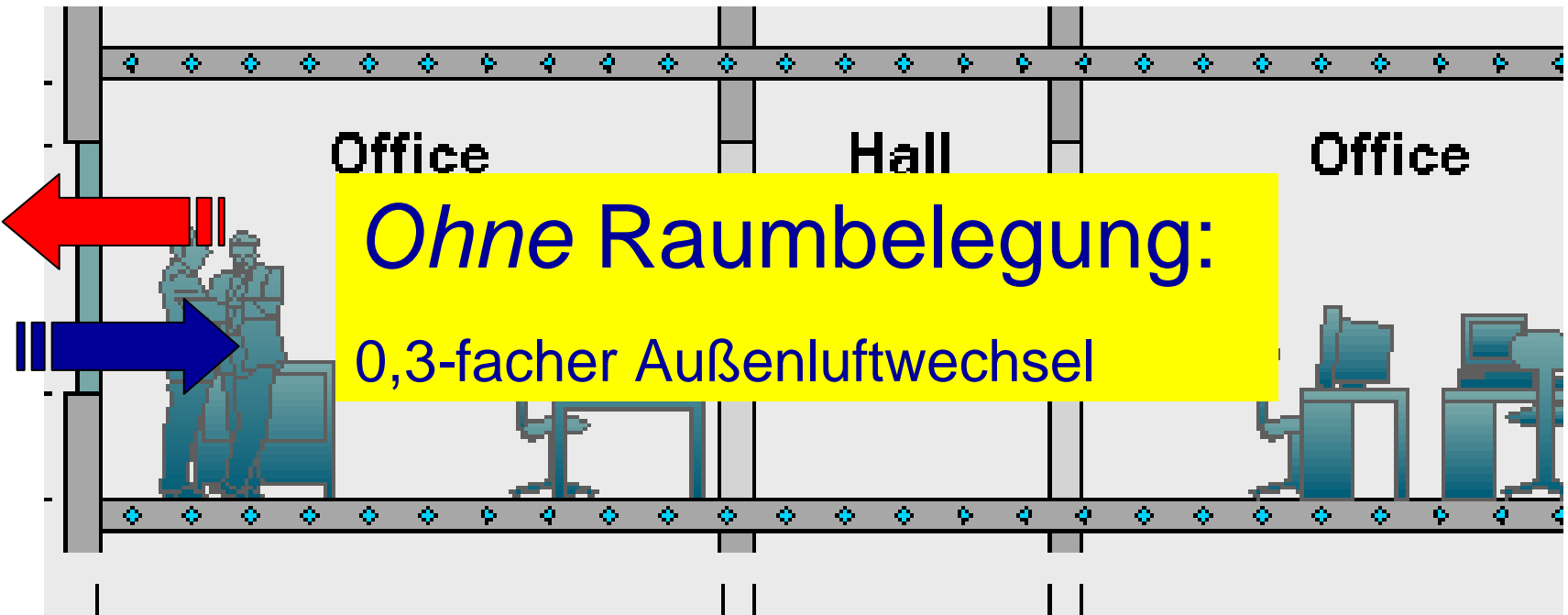
Das wärmetechnische Verhalten: Methode

*Ergebnisse für 2. bis
8. September*

Wetter: TRY 05



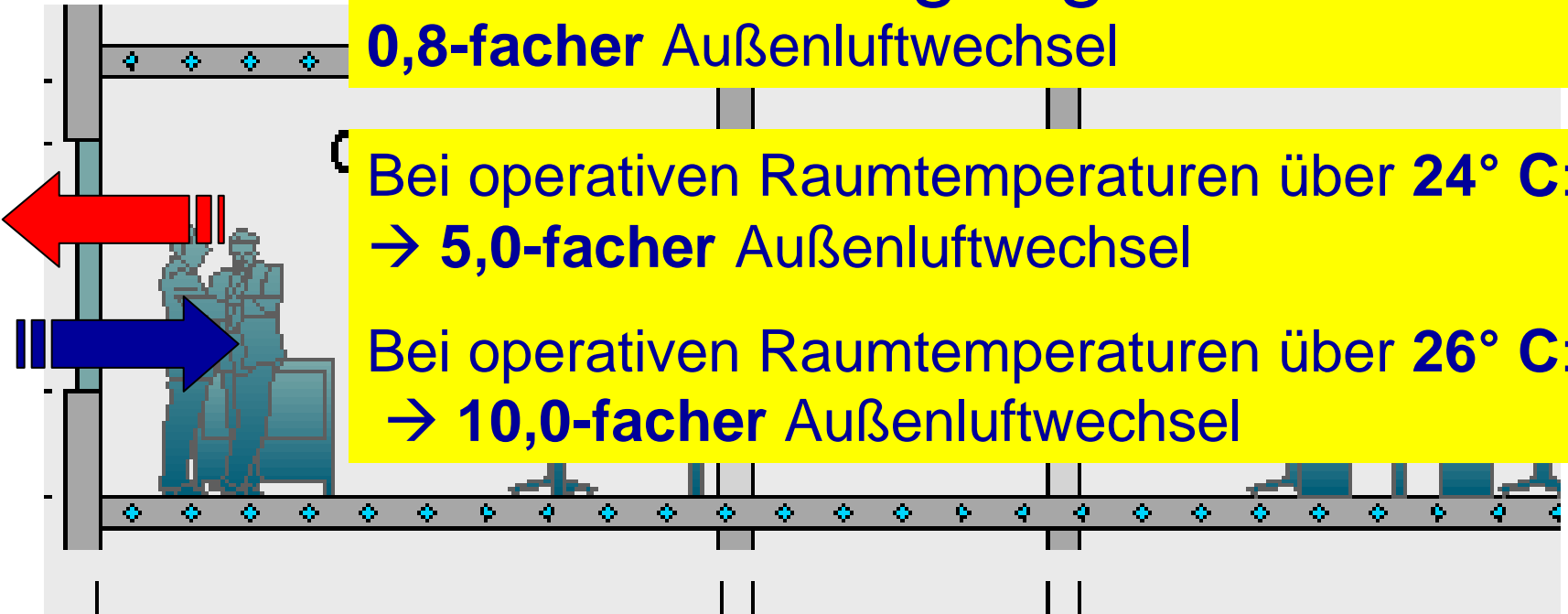
Stunden in der Zeit vom 1. Mai - 30. September

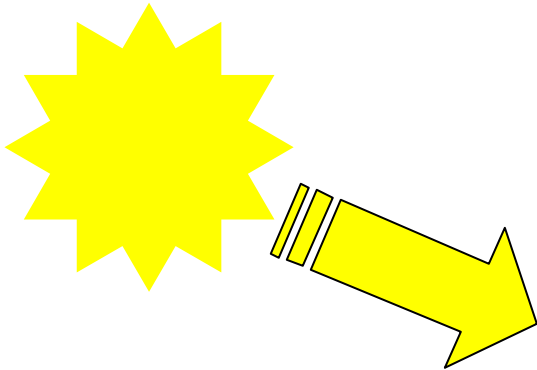


Mit Raumbelegung:
0,8-facher Außenluftwechsel

Bei operativen Raumtemperaturen über **24° C**:
→ **5,0-facher** Außenluftwechsel

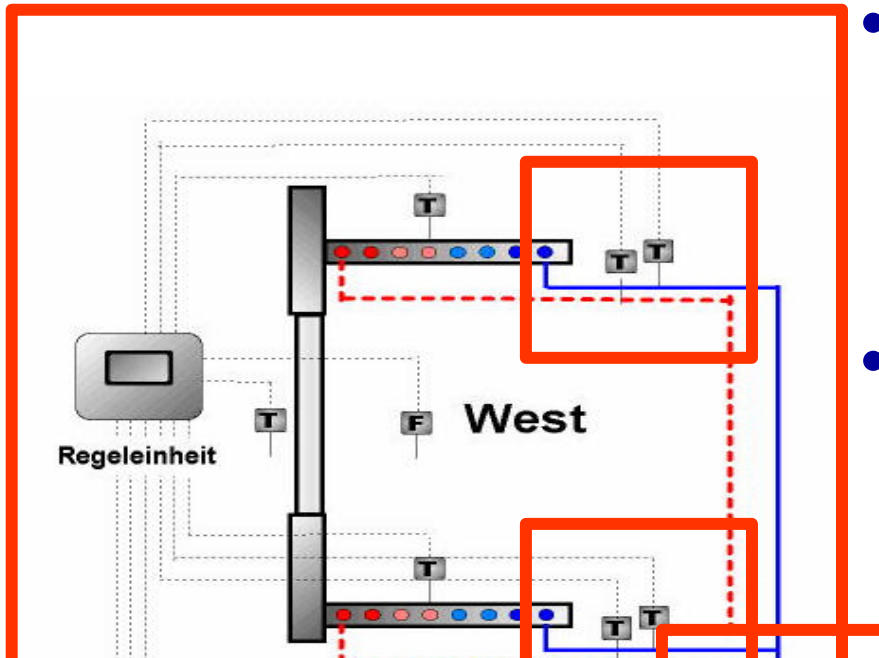
Bei operativen Raumtemperaturen über **26° C**:
→ **10,0-facher** Außenluftwechsel





Sonnenschutz:

**JA, während der Raumbel-
legung bei direkter solarer
Einstrahlung und einer
Raumtemperatur über 23 °C
mit $z = 0.5$**



Während dieser Betriebsbereitschaftszeit wird

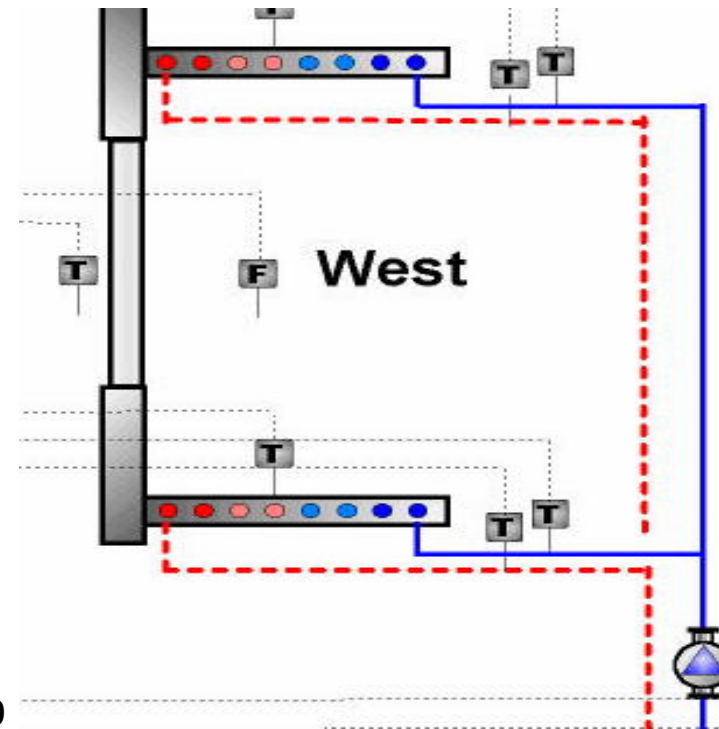
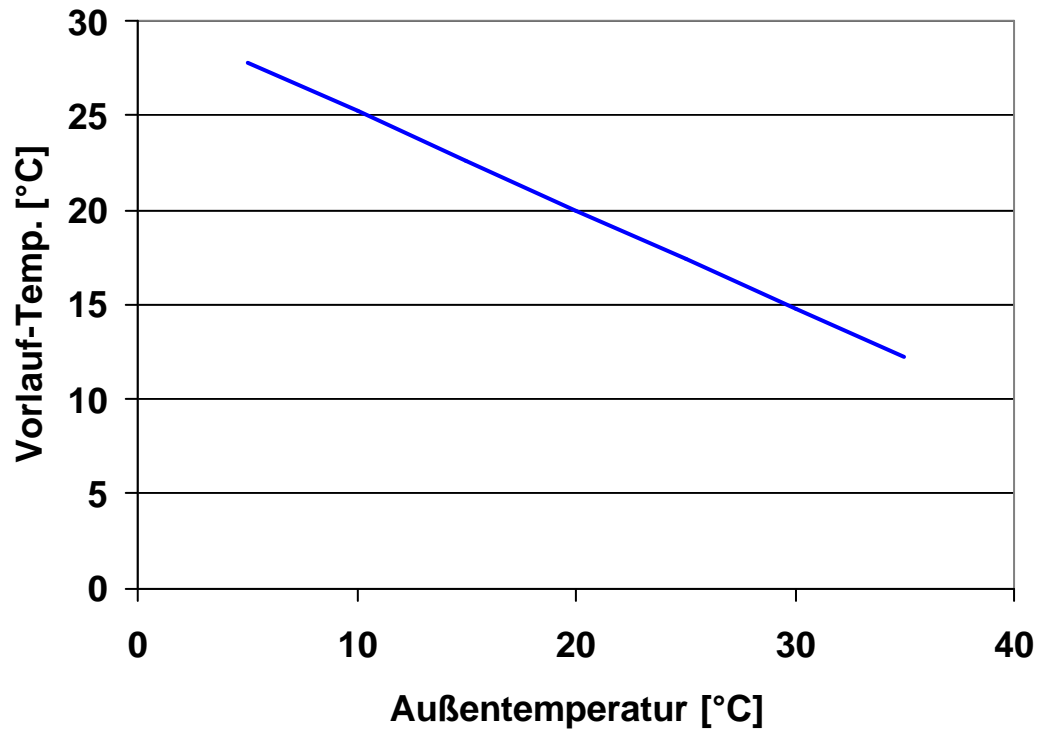
- über 23° C gekühlt und
- unter 22° C geheizt.

Untersuchte Regelstrategien:

- Wasser-Vorlauftemperatur = Taupunkttemp. im Raum
- Wasser-Vorlauftemperatur nach der Außentemperatur
- Mittlere Wassertemperatur nach der Außentemperatur
- Wasser-Vorlauftemperatur konstant 18°C, 20°C und 22°C
- Mittlere Wassertemperatur konstant 18°C, 20°C und 22°C
- ½ h „an“ + ½ h „aus“
- ¼ h „an“ + ¾ h „aus“.

Regelstrategie:

*Wassertemperatur nach der Außentemperatur.
24-Stunden-Betrieb der Betonkernaktivierung*

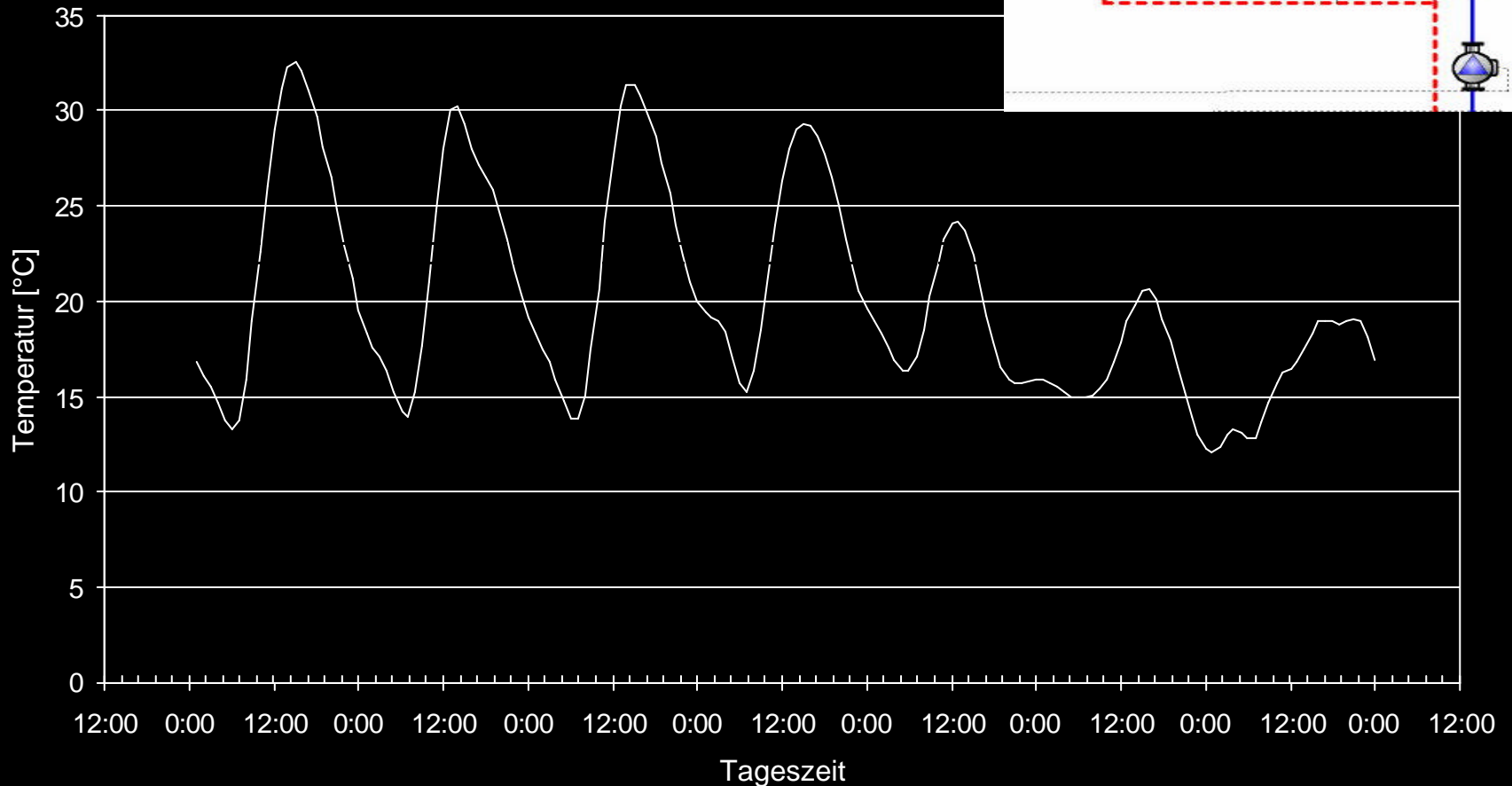
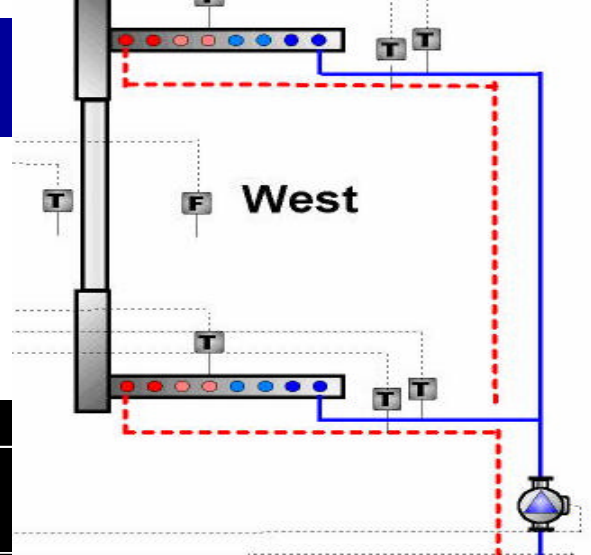


Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

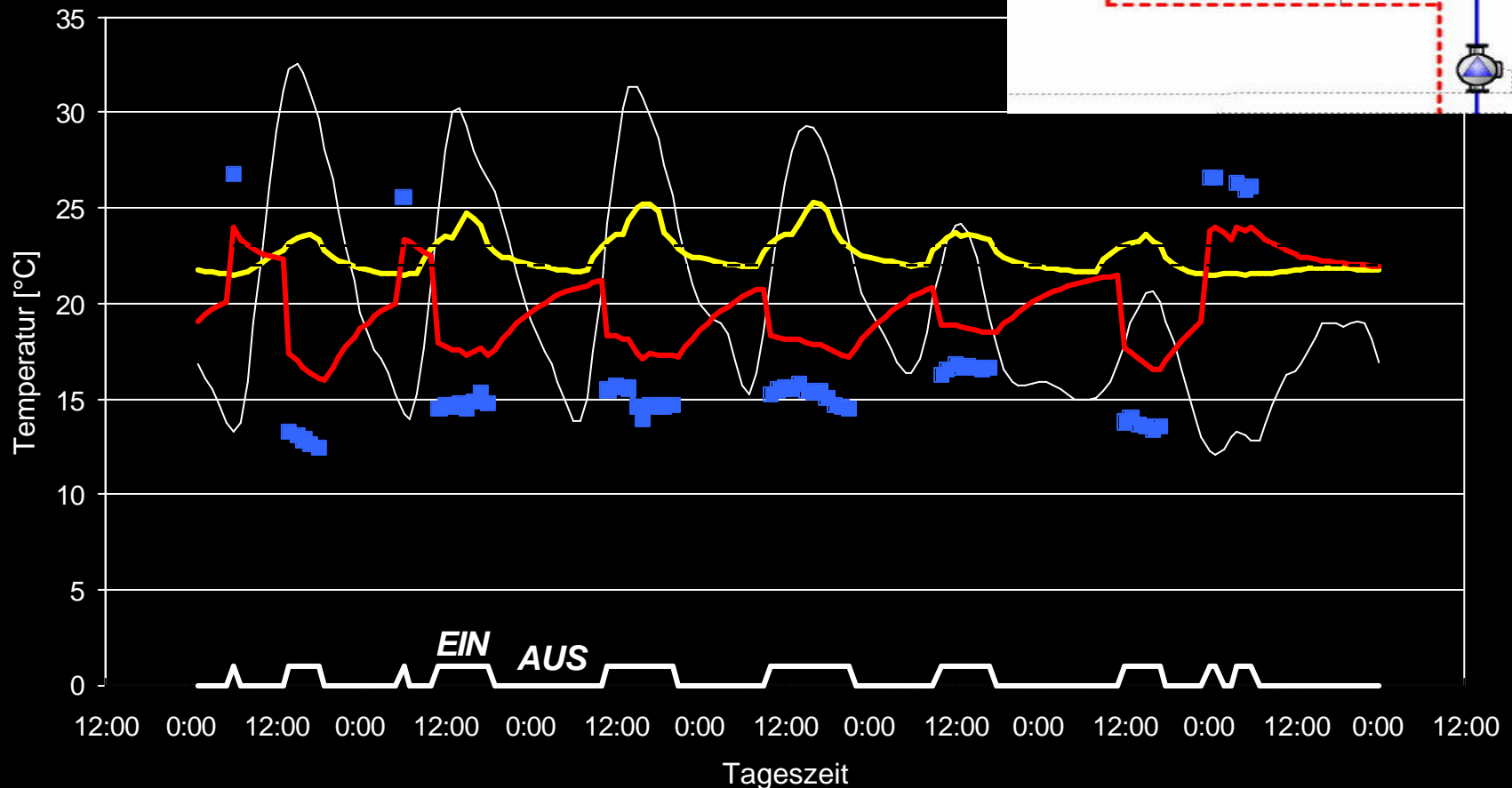
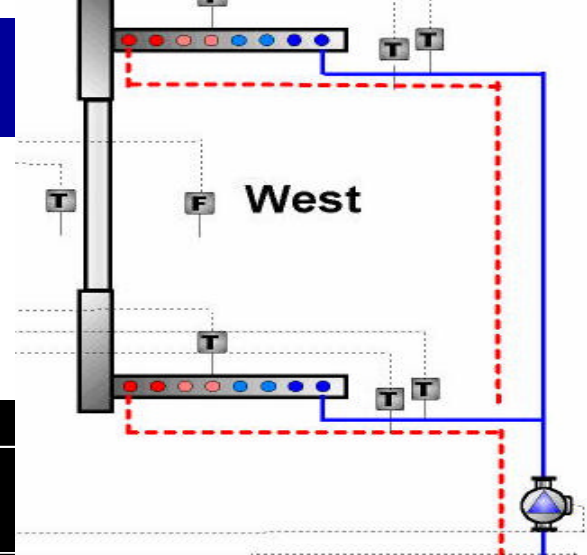
Mittlere Wassertemperatur nach der Außentemperatur.

24-Stunden-Betrieb der Betonkernaktivierung



Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:
Mittlere Wassertemperatur nach der Außentemperatur.
24-Stunden-Betrieb der Betonkernaktivierung

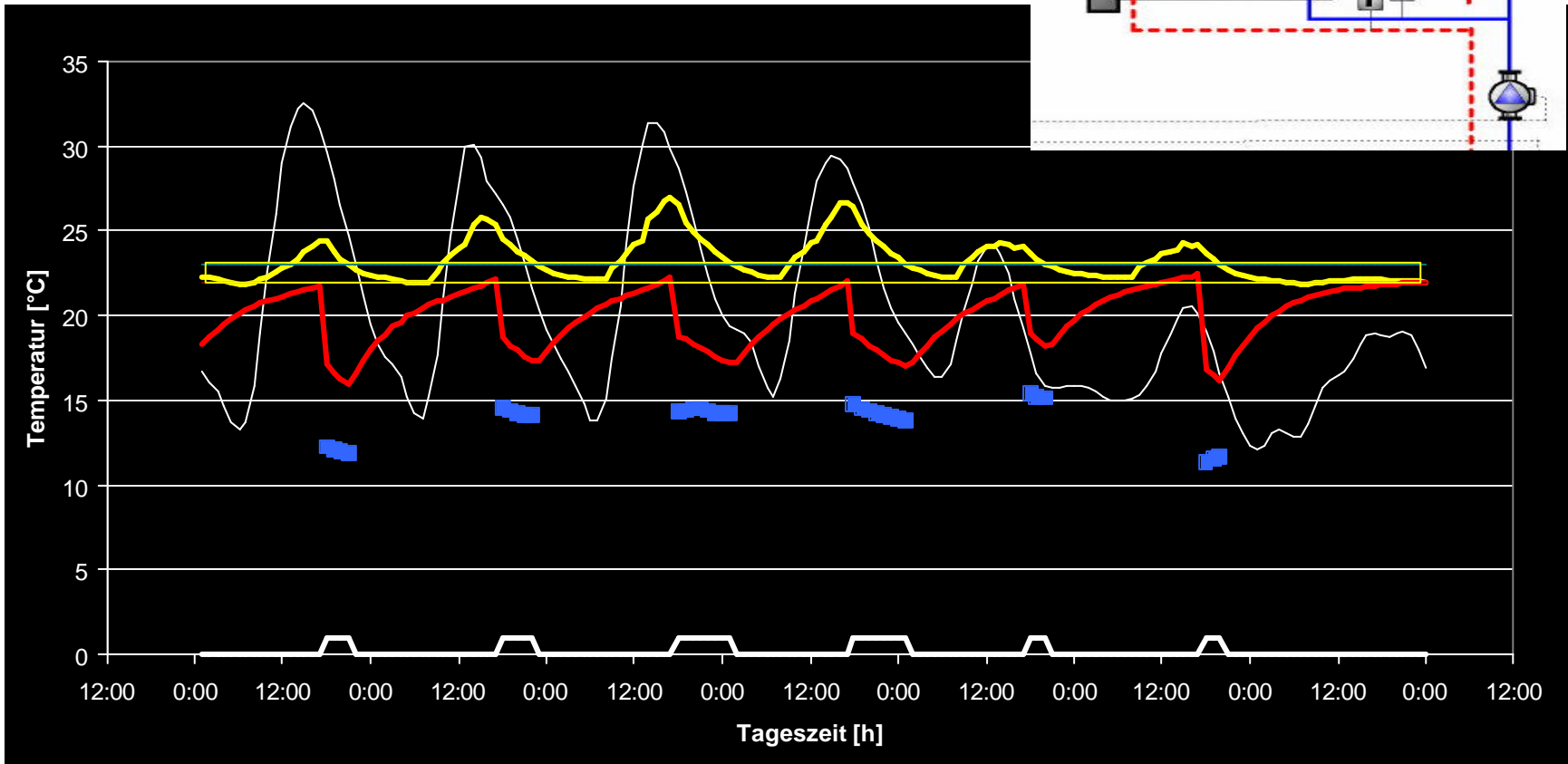
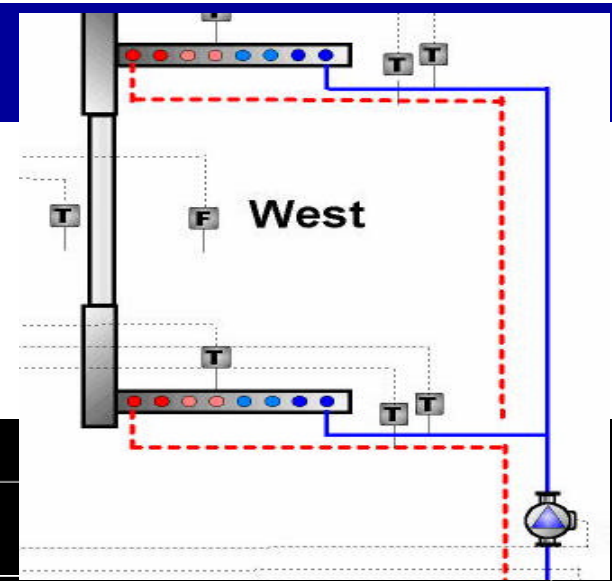


Ergebnis : 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

Mittlere Wassertemperatur nach der Außentemperatur.

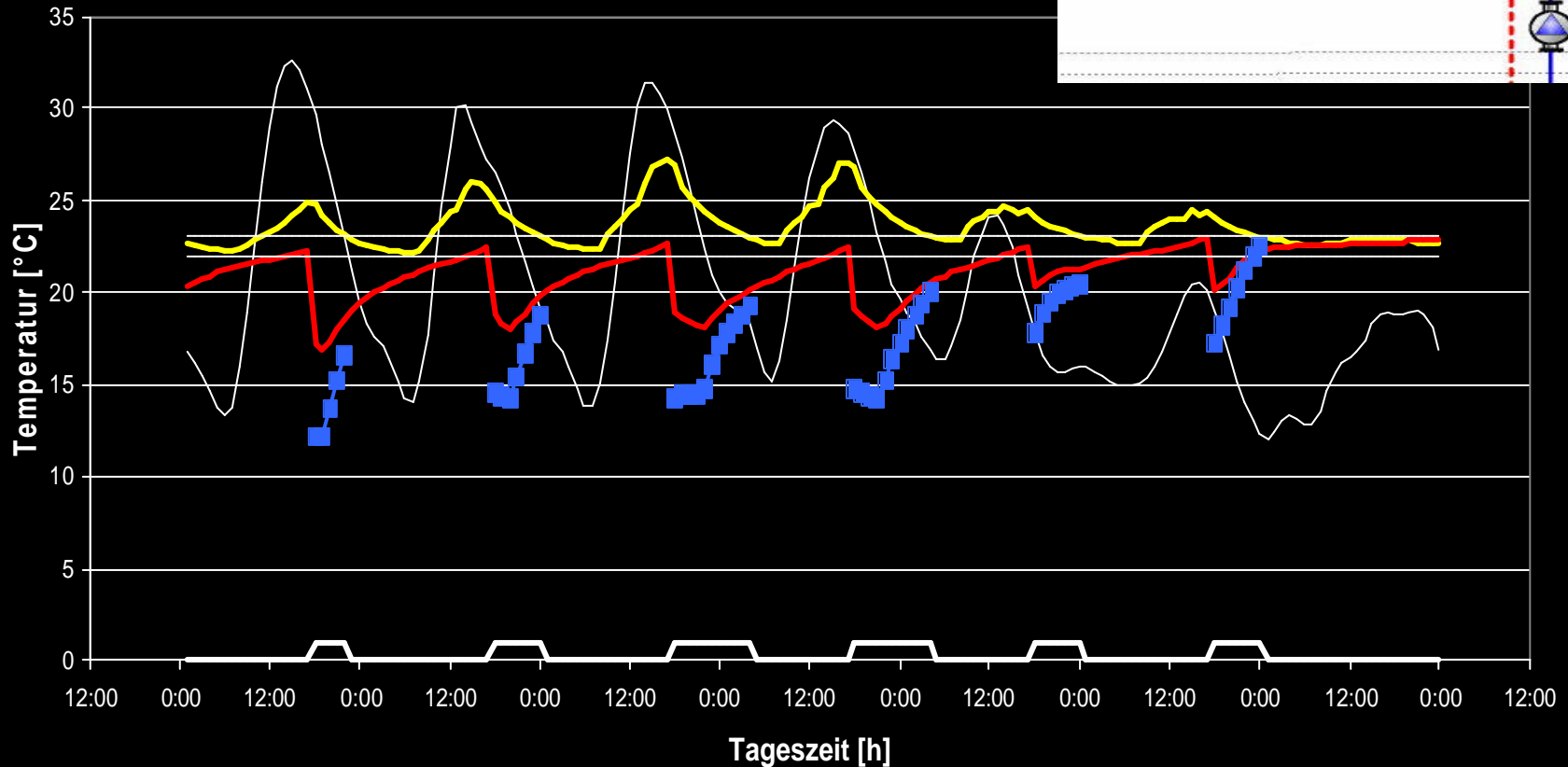
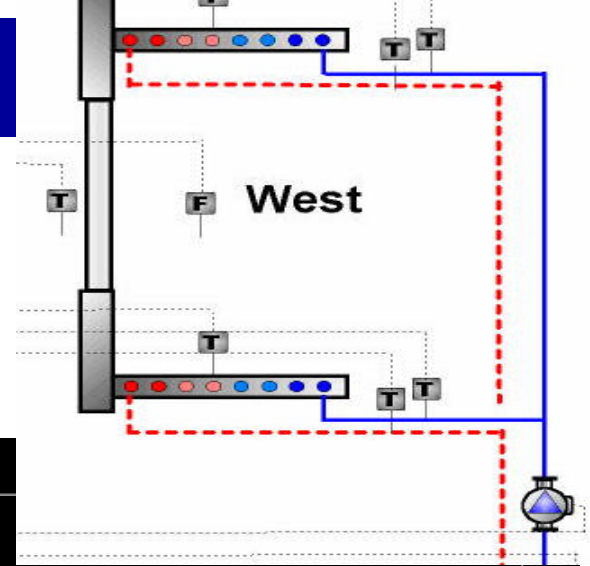
Betriebszeit der BKA 18.00 Uhr – 06.00 Uhr



Ergebnis : 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

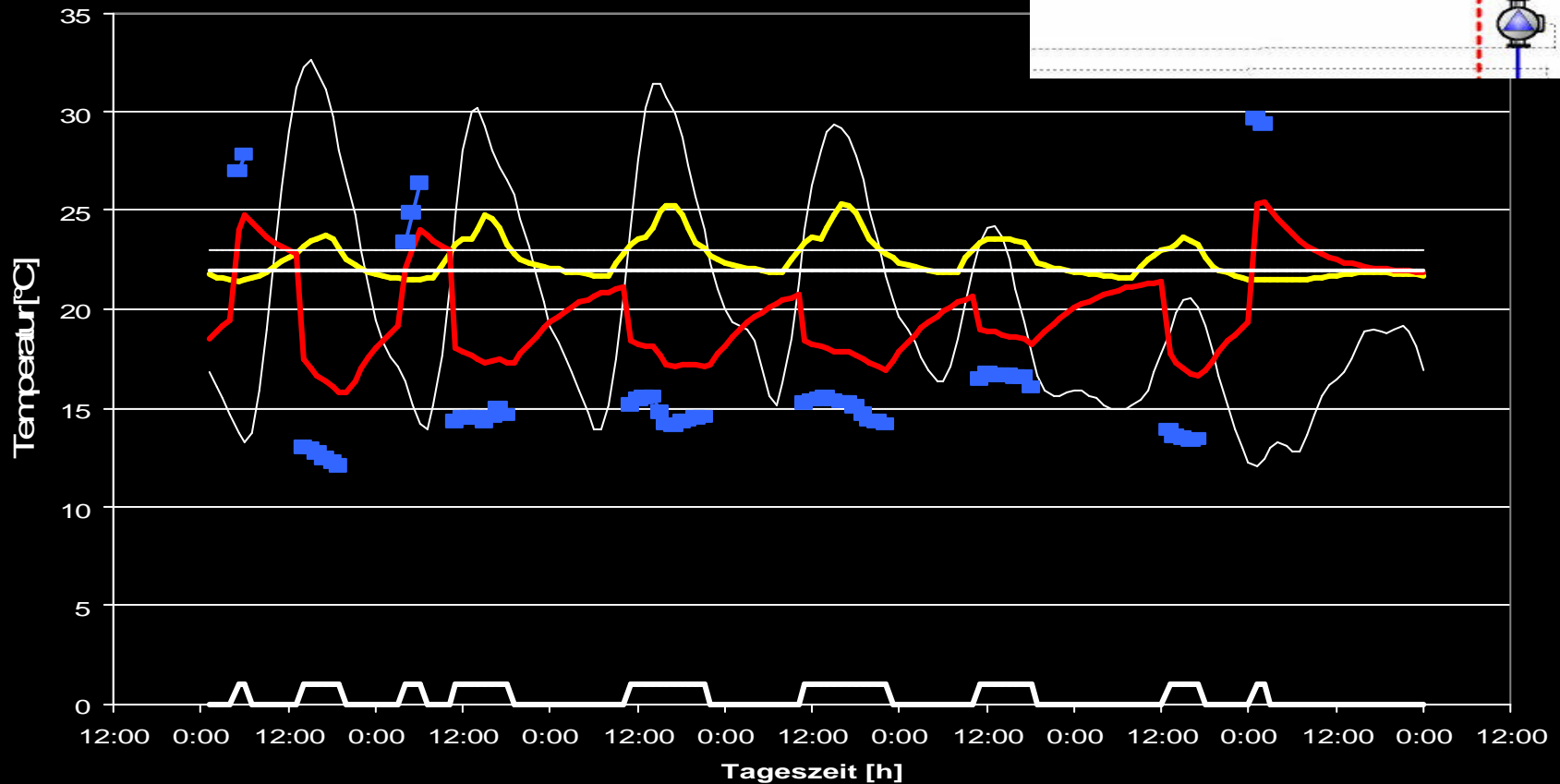
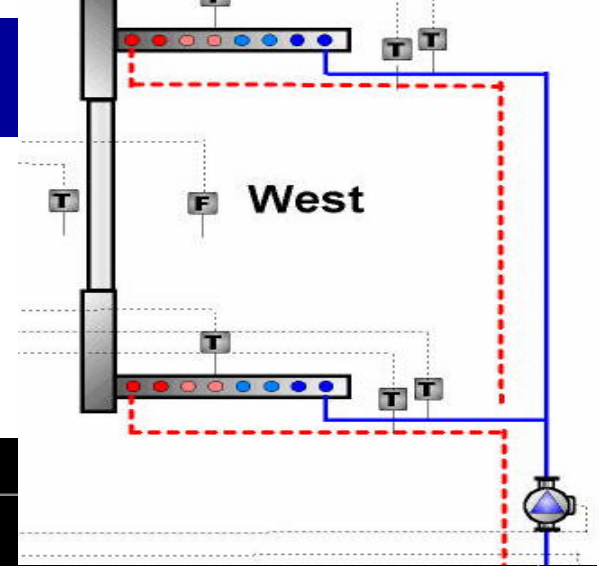
Wasser-Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Betriebszeit der Betonkernaktivierung von 18.00 – 06.00 Uhr



Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

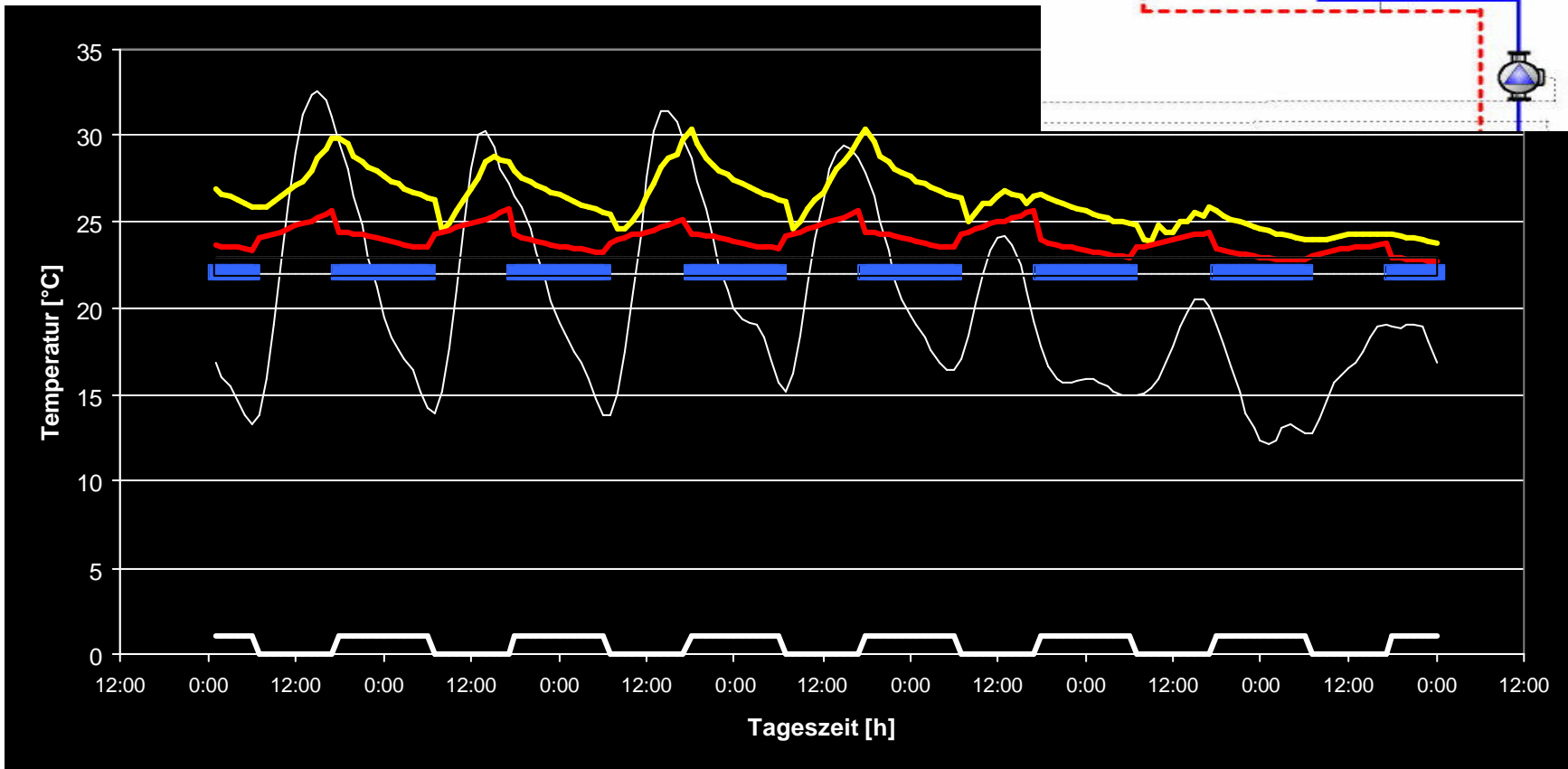
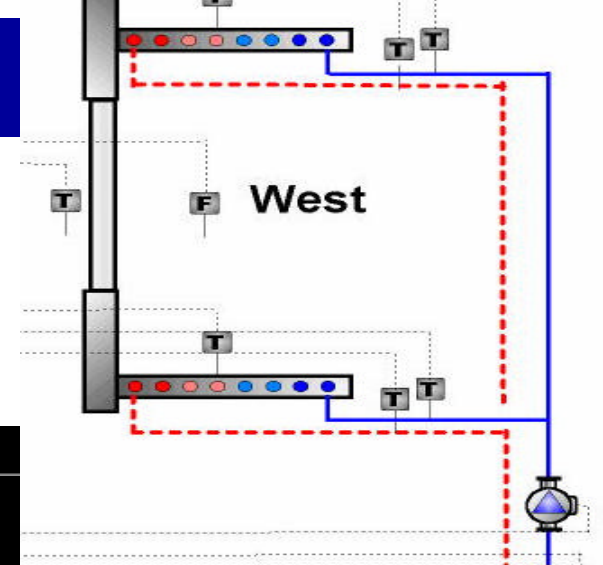
Wasser-Vorlauftemperatur = Taupunkttemperatur im Raum. 24-Stunden-Betrieb der Betonkernaktivierung



Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

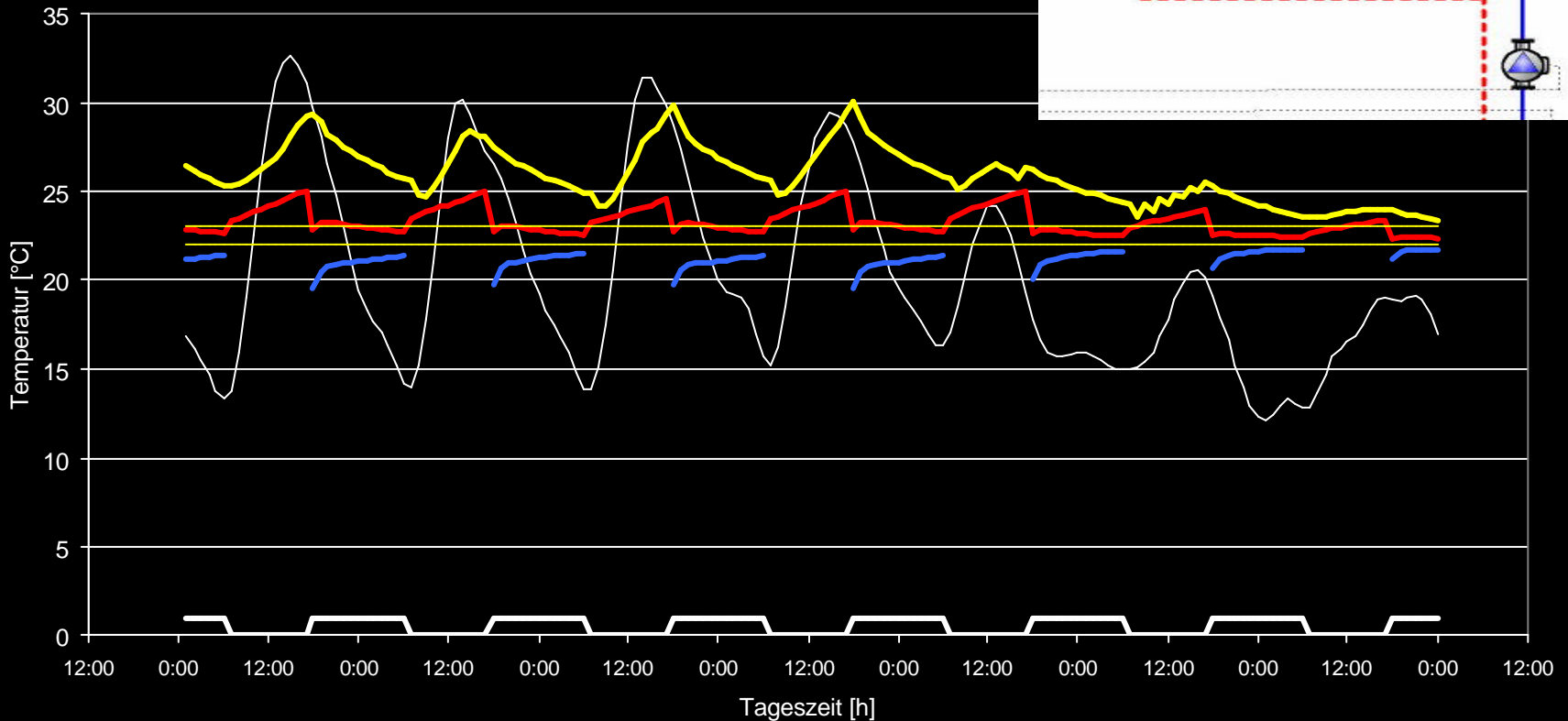
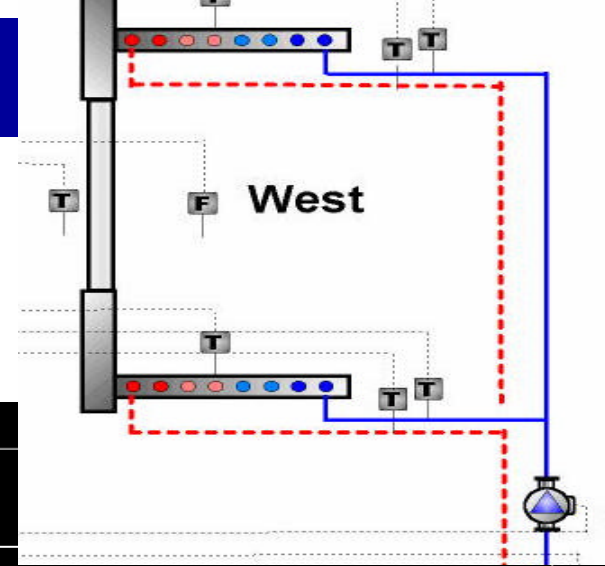
*Wasser-Vorlauf-Temperatur = 22 °C. Betriebszeit der
Betonkernaktivierung von 18.00 – 06.00 Uhr*



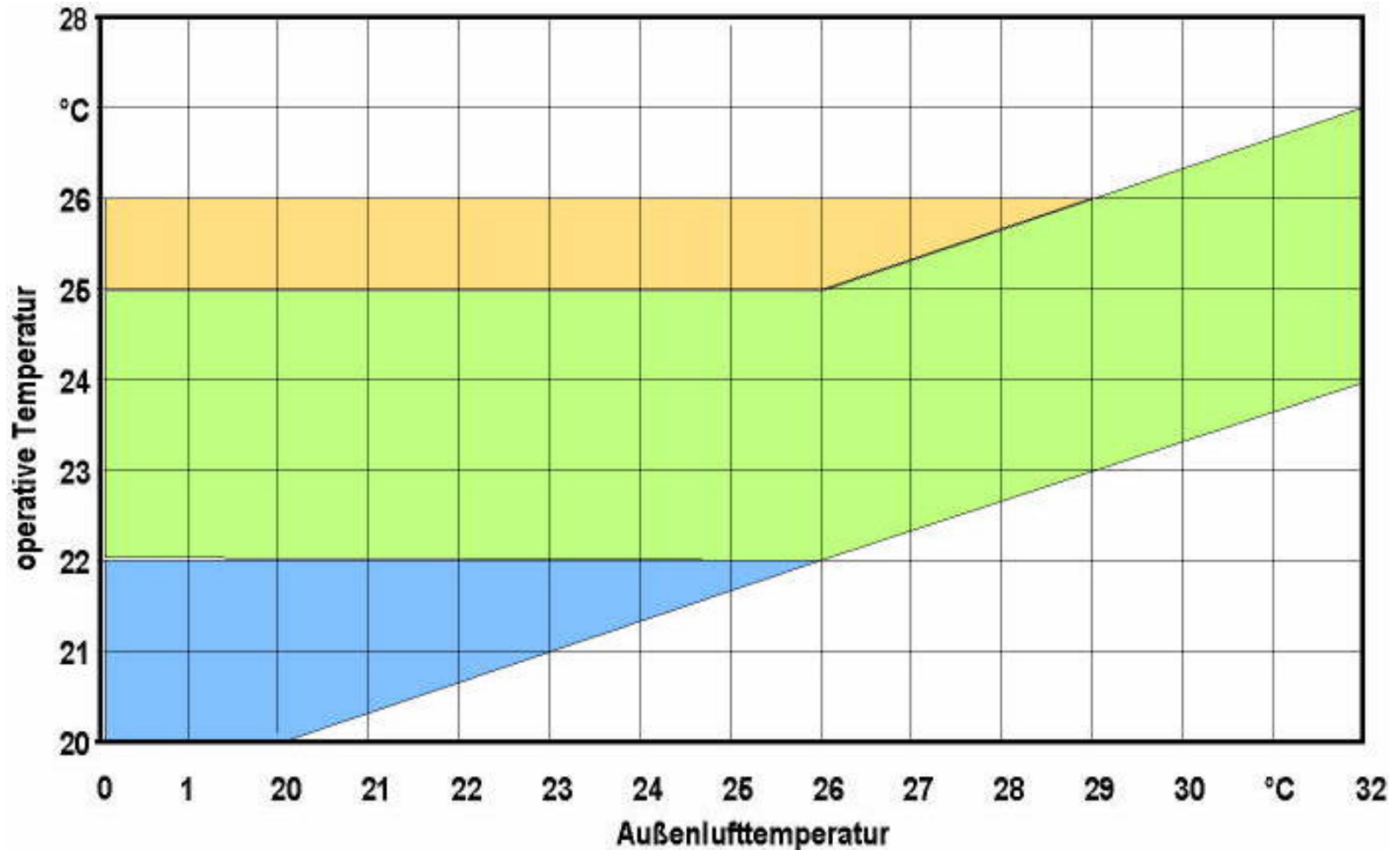
Ergebnis: 2.-8. Sept.

Regelstrategie:

**Mittlere Wassertemperatur = 22 °C. Betriebszeit der
Betonkernaktivierung von 18.00 – 06.00 Uhr**



DIN 1946-2: Empfohlene Temperaturen



Ergebnisse: Mai – September

Mittlere Wassertemperatur geregelt nach der Außentemperatur

		<i>Mai bis September</i>		
<i>Betriebsbereit</i>		<i>24 Stunden</i>	<i>18-6 Uhr</i>	<i>22-6 Uhr</i>
	<i>°C</i>	<i>% der Zeit</i>	<i>% der Zeit</i>	<i>% der Zeit</i>
<i>Temperaturklassen der operativen Raumtemperatur</i>	<i><20</i>	0	0	0
	<i>20-22</i>	11	4	2
	<i>22-25</i>	88	88	92
	<i>25-26</i>	1	6	5
	<i>26-27</i>	0	2	1
	<i>>27</i>	0	0	0
<i>Pumpenlaufzeit</i>	<i>Stunden</i>	1217	515	412
	<i>% der Zeit</i>	33	14	11
<i>Energie kWh</i>	<i>Kühlung</i>	1180	855	775
	<i>Heizung</i>	493	83	11

Ergebnisse: Mai - September

Wasser-Vorlauftemperatur = Raum-Taupunkttemperatur

		<i>Mai bis September</i> <i>Betonkernaktivierung 24 h betriebsbereit</i>		
<i>Pumpen-Betrieb</i>		<i>24 h</i>	<i>1h "an" + 1h "aus"</i>	<i>¼ h "an" + ¾ h "aus"</i>
	<i>°C</i>	<i>% der Zeit</i>	<i>% der Zeit</i>	<i>% der Zeit</i>
<i>Temperaturklassen der operativen Raumtemperatur</i>	<i><20</i>	0	0	0
	<i>20-22</i>	12	8	6
	<i>22-25</i>	88	89	87
	<i>25-26</i>	0	3	5
	<i>26-27</i>	0	0	1
	<i>>27</i>	0	0	1
<i>Pumpenlaufzeit</i>	<i>Stunden</i>	1091	630	478
	<i>% der Zeit</i>	30	17	13
<i>Energie kWh</i>	<i>Kühlung</i>	1281	981	213
	<i>Heizung</i>	391	130	11

Ergebnisse: Mai bis September

Betriebszeit der Betonkernaktivierung: 18.00 – 06.00 Uhr

Mai bis September								
Regelstrategie für die Wassertemperatur		Vorlauf = Taupunkt	Vorlauf = $f(t_a)$	Mittel = $f(t_a)$	Mittel = 22 °C	Vorlauf = 22 °C	Vorlauf = 20 °C	Vorlauf = 18 °C
°C		% - Zeit	% - Zeit	% - Zeit	% - Zeit	% - Zeit	% - Zeit	% - Zeit
Intervall der operativen Raumtemp.	<20	0	0	0	0	0	0	2
	20-22	14	1	4	1	1	10	22
	22-25	84	88	88	68	62	69	66
	25-26	2	9	6	16	19	12	7
	26-27	0	2	2	10	12	6	2
	>27	0	0	0	5	6	3	1
Pumpen-Laufzeit	h	1377	1215	515	1989	1989	1989	1894
	% - Zeit	38	33	14	54	54	54	52
Energie [kWh]	Kühlen	1639	782	855	952	865	1092	1278
	Heizen	1031	44	83	0	0	0	0

Das wärmetechnische Verhalten: Diskussion (1)

- Mit Hilfe der Computersimulation lässt sich das wärmetechnische Verhalten der Betonkernaktivierung (BKA) sehr gut visualisieren und lehren und lernen.
- Das wärmetechnische Verhalten der BKA hängt stark von der gewählten Regelstrategie ab. Für den Fall der Büroraum-Kühlung gilt:
- Für die BKA ist es wichtig, nicht zu hohe oder zu niedrige Wassertemperaturen einzustellen. Dies wird infolge der Dynamik zur Unterkühlung oder Überheizung der Aufenthaltszone führen.

Das wärmetechnische Verhalten: Diskussion (2)

- Die größte Kühlleistung ergibt sich bei einer Regelung der Vorlauftemperatur gleich der Taupunkttemperatur in der Aufenthaltszone. Dabei ist der sich einstellende Komfort nicht optimal wegen der Unterkühlung der Aufenthaltszone.
Die Regelstrategie ist auch aus energetischer Sicht nicht gut aufgrund der notwendigen Nachheizung.

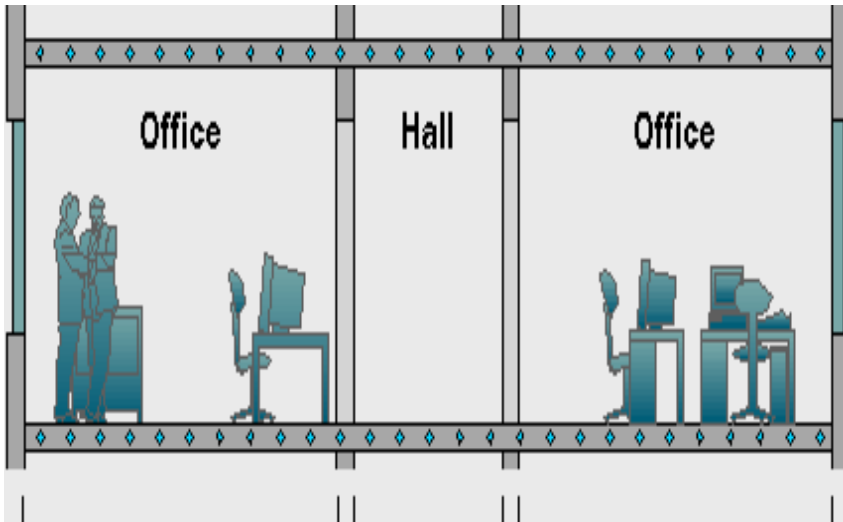
Das wärmetechnische Verhalten: Diskussion (3)

- Die Betriebszeit kann begrenzt werden, indem nur während der Nachtzeit gefahren wird oder indem die Pumpen nur taktend zum Einsatz kommen.
- Die besten Ergebnisse hinsichtlich Komfort und Energiebedarf ergeben sich durch Regelung der Wassertemperatur (Vorlauf oder Mittelwert) in Abhängigkeit von der Außentemperatur.

Analyse der EnEV aus der Sicht der Betonkernaktivierung

Energieeinsparverordnung (EnEV): Neubau

Bürogebäude mit Betonkernaktivierung

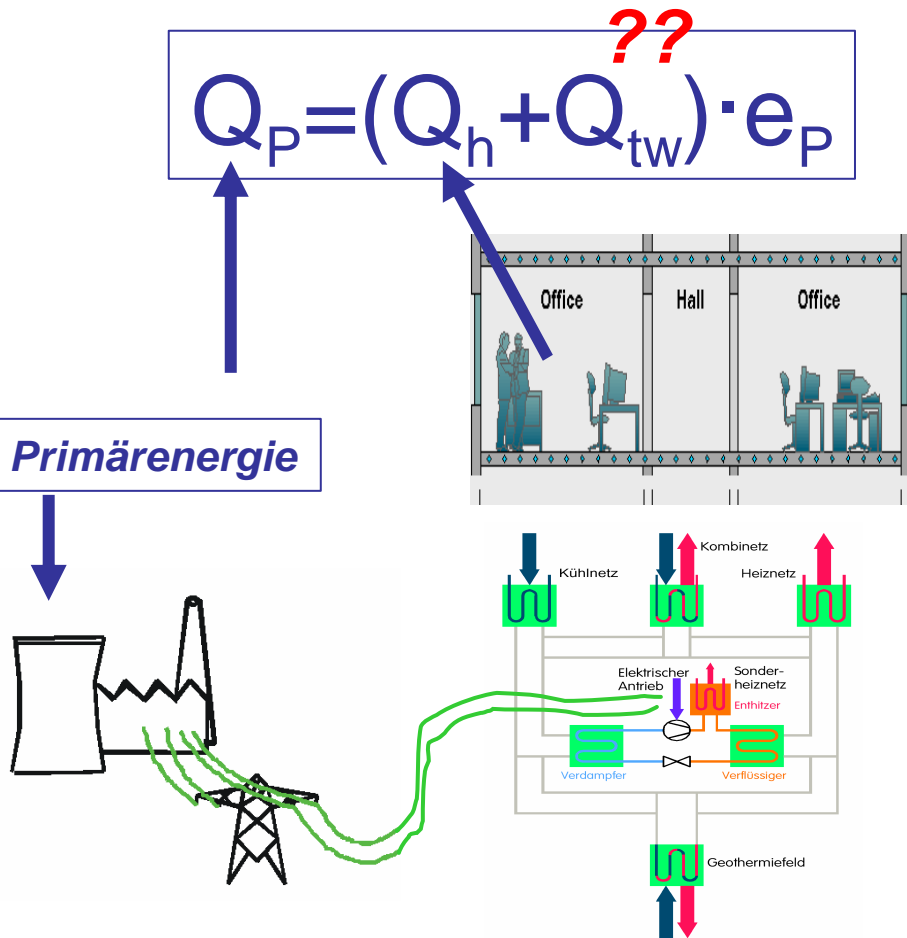


Laut EnEV ist zu berücksichtigen:

- Gebäude mit normalen Innentemperaturen ($t_i \geq 19 \text{ °C}$),
→ Nichtwohngebäude
- Heizungsanlage
- Raumluftechnische Anlage, Kühlung

Warmwasserbereitung ???

Energieeinsparverordnung (EnEV): Berechnung



- Q_P : Jahres-Primärenergiebedarf
- Q_h : Jahres-Heizwärmebedarf
- Q_{tw} : Jahres-Trinkwasserwärmebedarf
- e_P : primärenergetisch bez. Aufwandszahl

Energieeinsparverordnung (EnEV): Neubauten (Anl. 1)

Verhältnis A/V_e	Jahres-Primärenergiebedarf			Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust	
	$Q_{p, req}$ in kWh/(m ² ·a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche		$Q_{p, req}$ in kWh/(m ³ ·a) bezogen auf das beheizte Gebäu- devolumen	$H_{T, req}$ in W/(m ² ·K)	
	Wohngebäude außer solchen nach Spalte 3	Wohngebäude mit überwie- gender Warm- wasserberei- tung aus elekt- rischem Strom	<u>andere Gebäude</u>	Nichtwohng- ebäude mit einem Fenster- flächenanteil ≤30% und Wohngebäude	Nichtwohng- ebäude mit ei- nem Fen- sterflächenanteil >30%
1	2	3	4	5	6
≤0,2	$66,00 + 2600/(100+A_N)$	88,00	14,72	1,05	1,55
0,3	$73,53 + 2600/(100+A_N)$	95,53	17,13	0,80	1,15
0,4	$81,06 + 2600/(100+A_N)$	103,06	19,54	0,68	0,95
0,5	$88,58 + 2600/(100+A_N)$	110,58	21,95	0,60	0,83
0,6	$96,11 + 2600/(100+A_N)$	118,11	24,36	0,55	0,75
0,7	$103,64 + 2600/(100+A_N)$	125,64	26,77	0,51	0,69
0,8	$111,17 + 2600/(100+A_N)$	133,17	29,18	0,49	0,65
0,9	$118,70 + 2600/(100+A_N)$	140,70	31,59	0,47	0,62
1	$126,23 + 2600/(100+A_N)$	148,23	34,00	0,45	0,59
≥1,05	$130,00 + 2600/(100+A_N)$	152,00	35,21	0,44	0,58

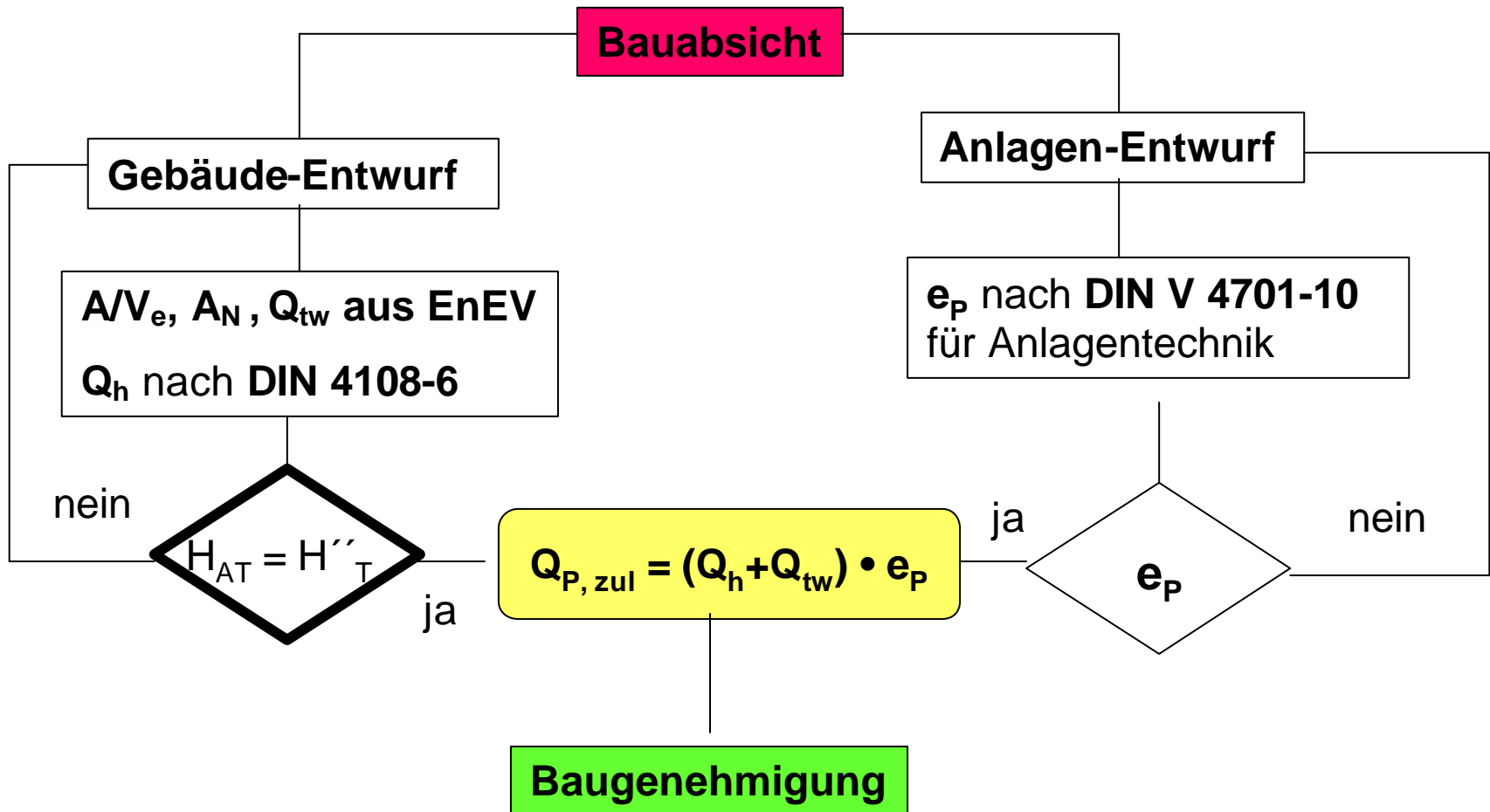
Energieeinsparverordnung (EnEV): Ausnahme

Verhältnis A/V_e	Jahres-Primärenergiebedarf			Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust	
	$Q_{p,prim}$ in kWh/(m ² ·a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche		$Q_{p,prim}$ in kWh/(m ³ ·a) bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen	$H_{T,trans}$ in W/(m ² ·K)	
	Wohngebäude außer solchen nach Spalte 3	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom	andere Gebäude	Nichtwohngebäude mit einem Fensterflächenanteil ≤30% und Wohngebäude	Nichtwohngebäude mit einem Fensterflächenanteil >30%
1	2	3	4	5	6
≤0,2	$66,00 + 2600/(100+A_N)$	88,00	14,72	1,05	1,55
0,3	$73,53 + 2600/(100+A_N)$	95,53	17,13	0,80	1,15
0,4	$81,06 + 2600/(100+A_N)$	103,06	19,54	0,68	0,95
0,5	$88,58 + 2600/(100+A_N)$	110,58	21,95	0,60	0,83
0,6	$96,11 + 2600/(100+A_N)$	118,11	24,36	0,55	0,75
0,7	$103,64 + 2600/(100+A_N)$	125,64	26,77	0,51	0,69
0,8	$111,17 + 2600/(100+A_N)$	133,17	29,18	0,49	0,65
0,9	$118,70 + 2600/(100+A_N)$	140,70	31,59	0,47	0,62
1	$126,23 + 2600/(100+A_N)$	148,23	34,00	0,45	0,59
≥1,05	$130,00 + 2600/(100+A_N)$	152,00	35,21	0,44	0,58

Die Begrenzung von Q_p gilt nicht für Gebäude, die mindestens zu 70 vom Hundert durch erneuerbare Energien mittels selbsttätig arbeitender Wärmeerzeuger beheizt werden.

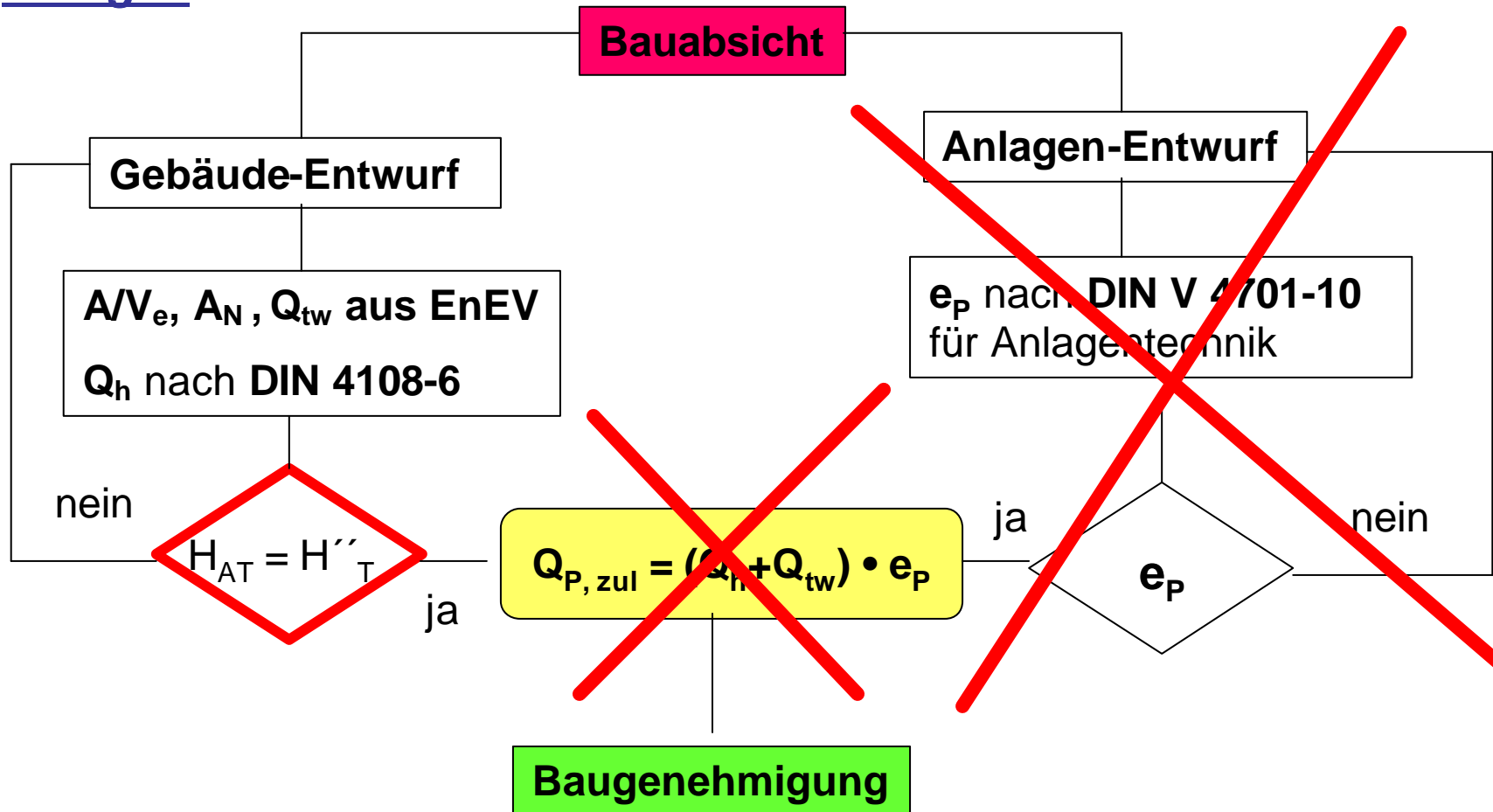
Erneuerbare Energien:
Solarenergie, Umweltwärme, Erdwärme und Biomasse.

Energieeinsparverordnung (EnEV): Vorgehensweise



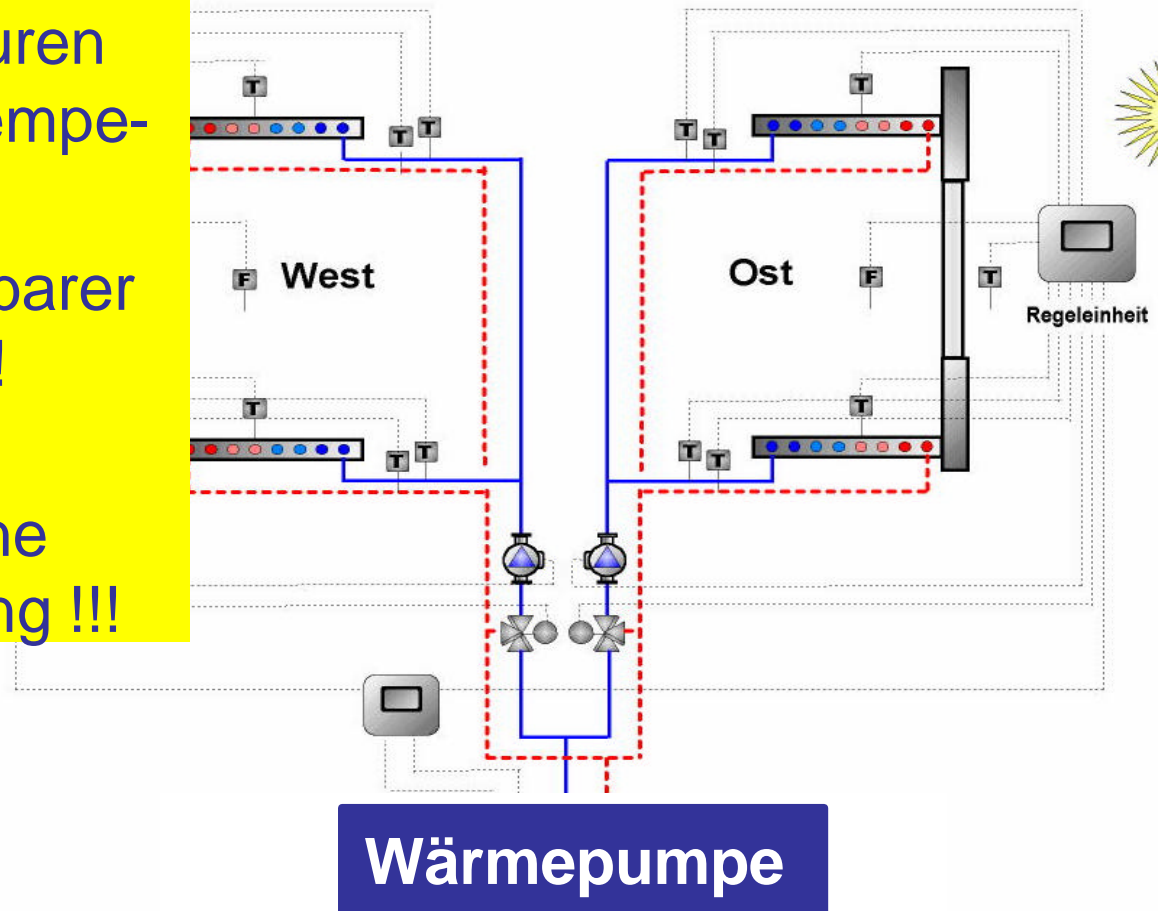
Energieeinsparverordnung (EnEV): Vorgehensweise

Beheizung mindestens zu 70 vom Hundert durch erneuerbare Energie:

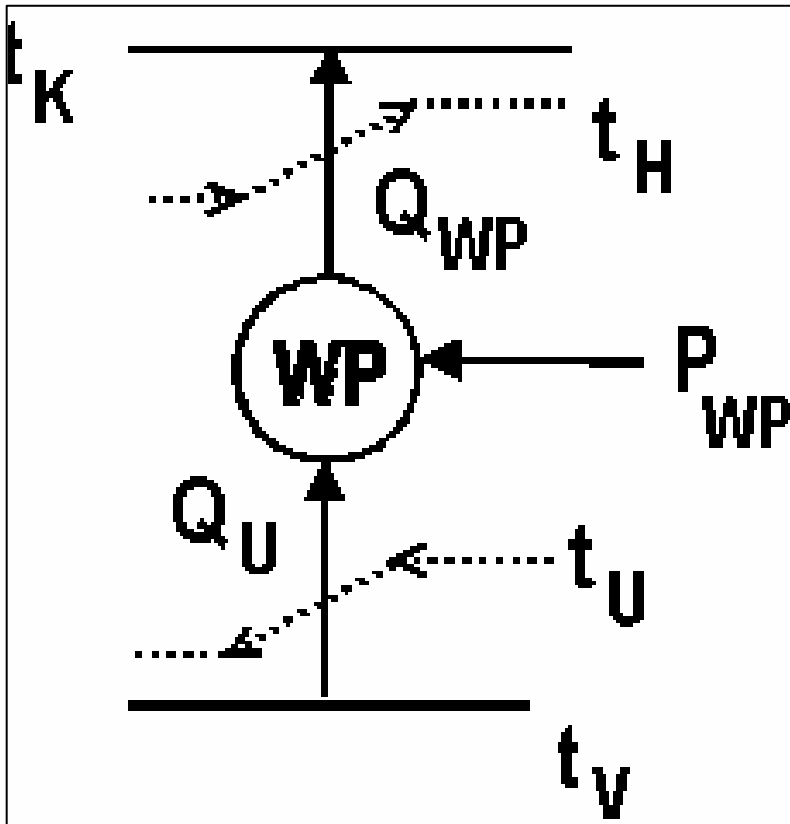


Vorteile der Betonkernaktivierung

- Wassertemperaturen nahe der Raumtemperatur !!!
- Nutzung erneuerbarer Energiequellen !!!
- Bei Einsatz einer Wärmepumpe eine Effizienzsteigerung !!!



Eigenschaften von Wärmepumpen



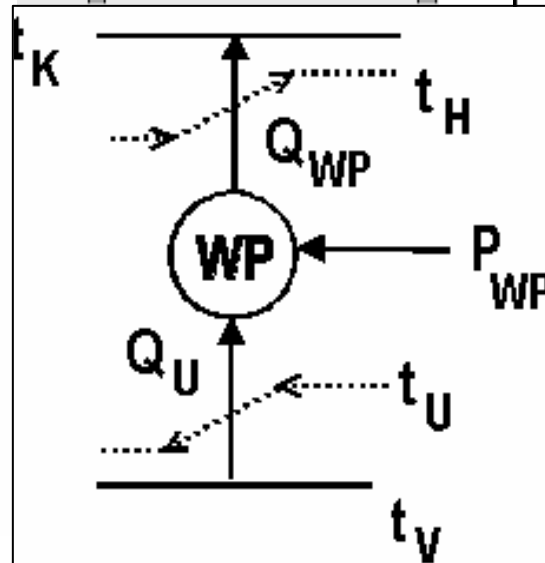
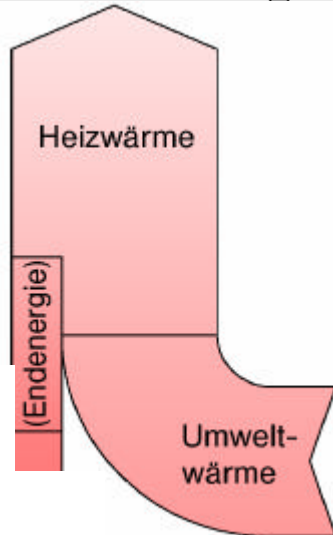
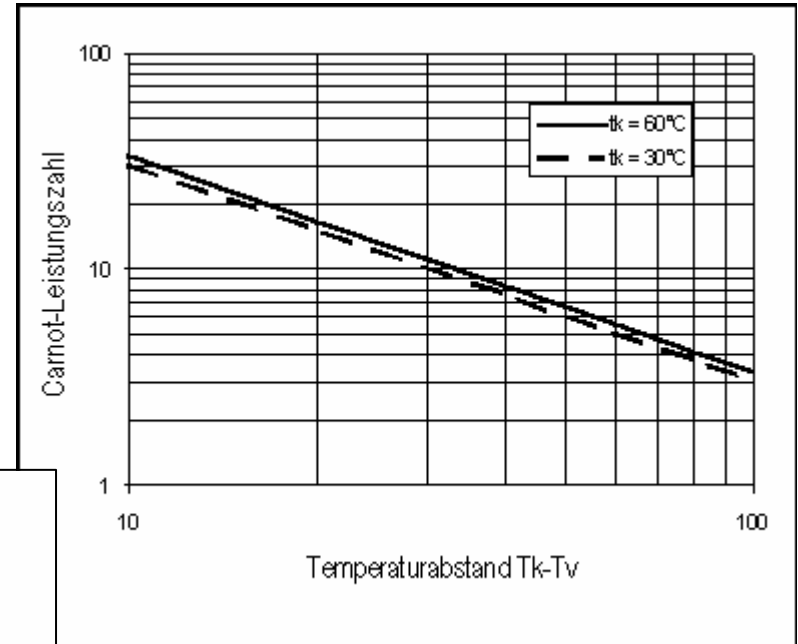
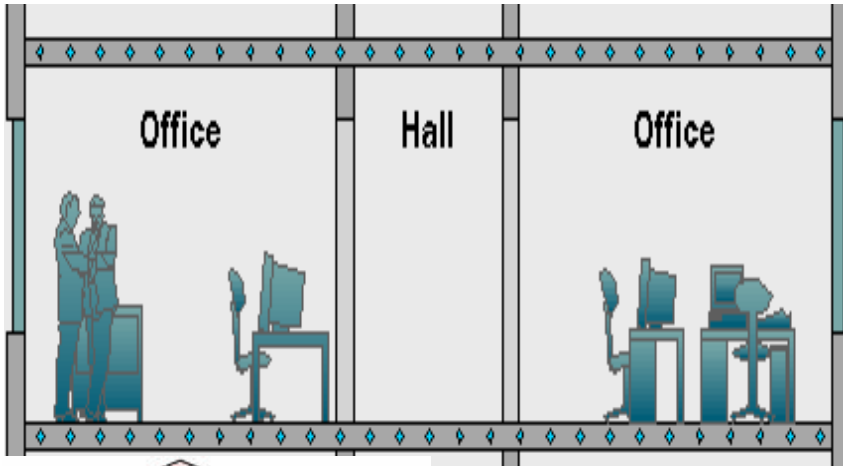
Carnot-Prozeß:

$$e_c = \frac{T_K}{T_K - T_V}$$

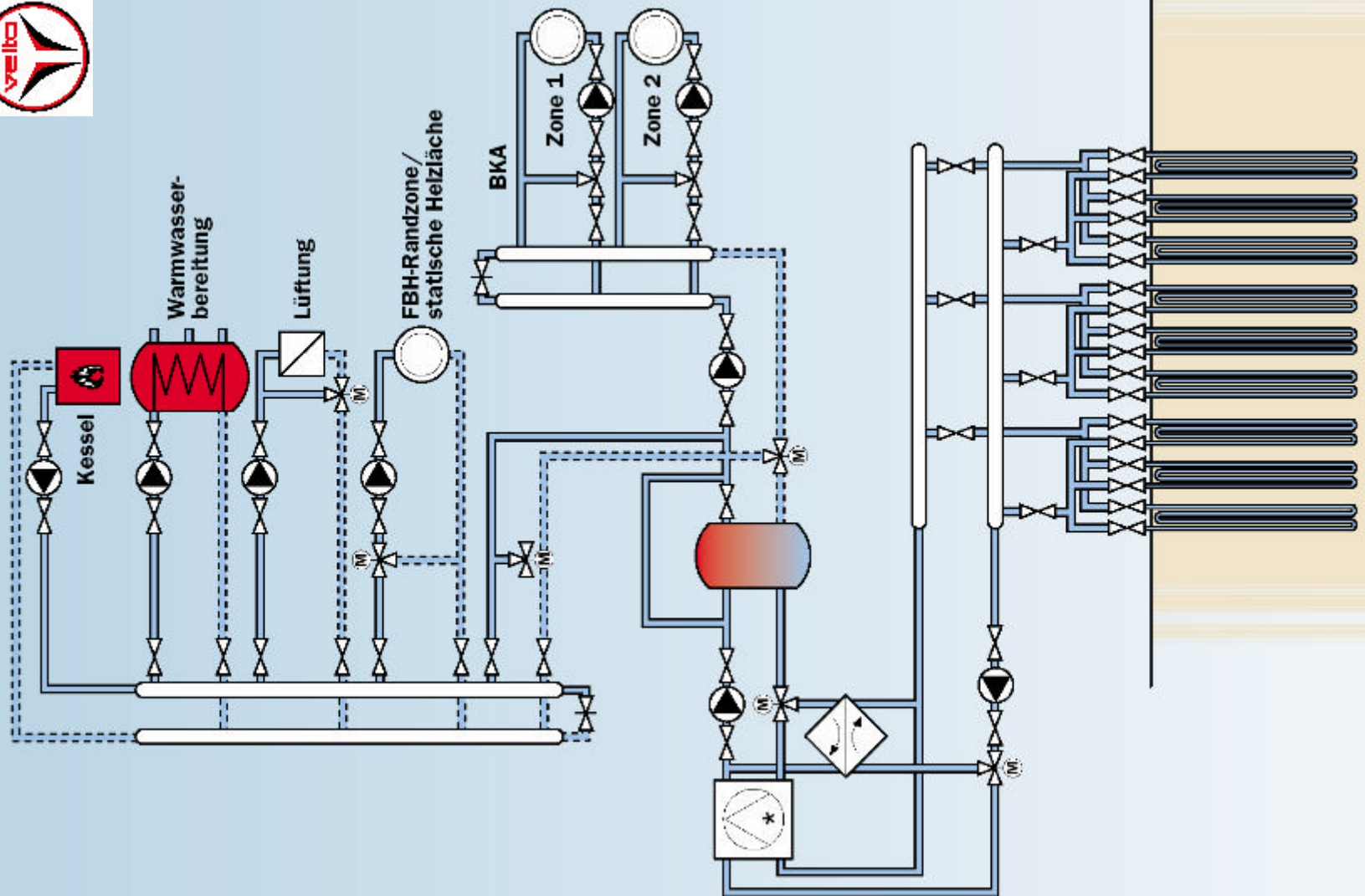
Leistungszahl der WP:

$$e = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{WP}} = h \cdot e_c$$

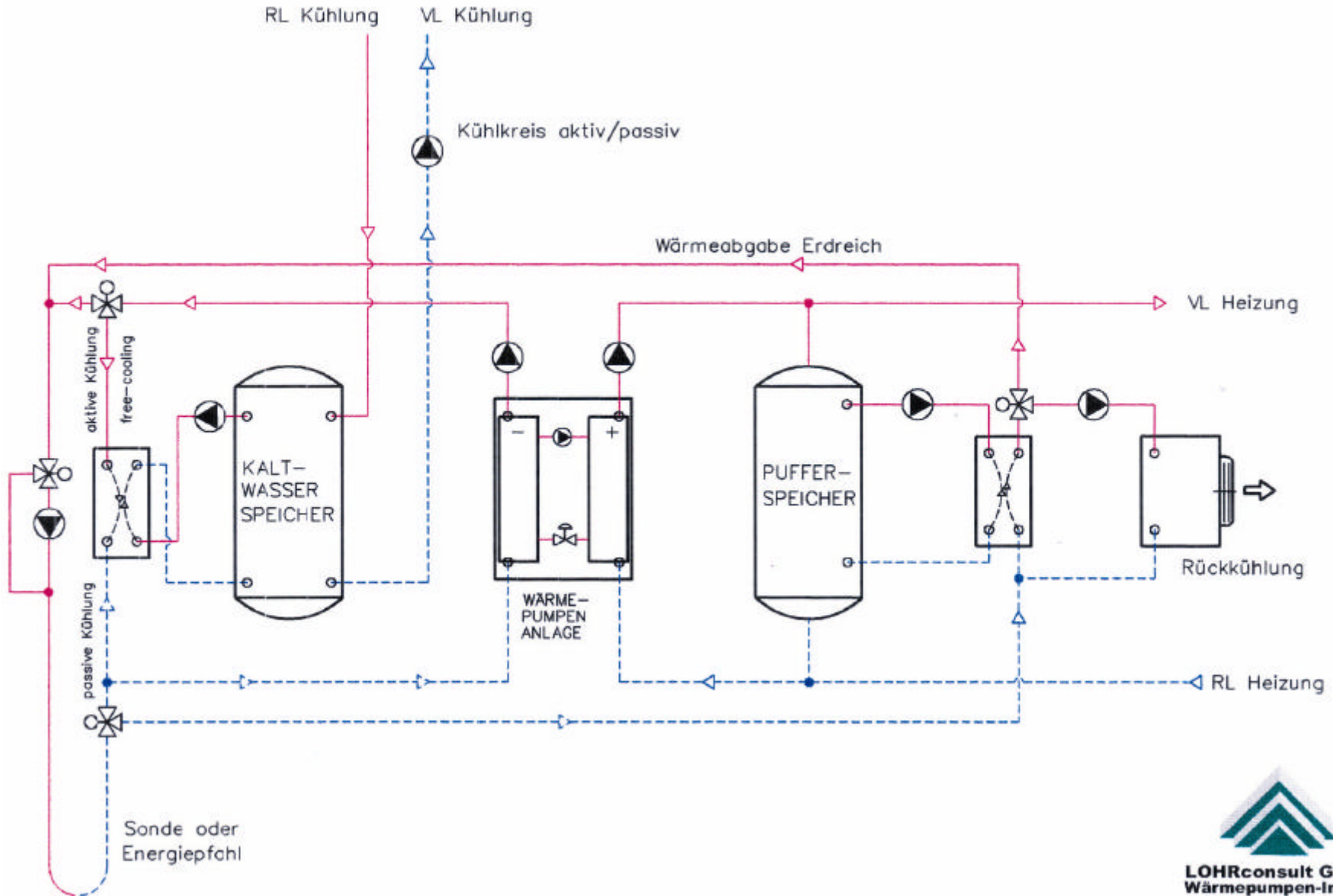
Betonkernaktivierung mit Wärmepumpe



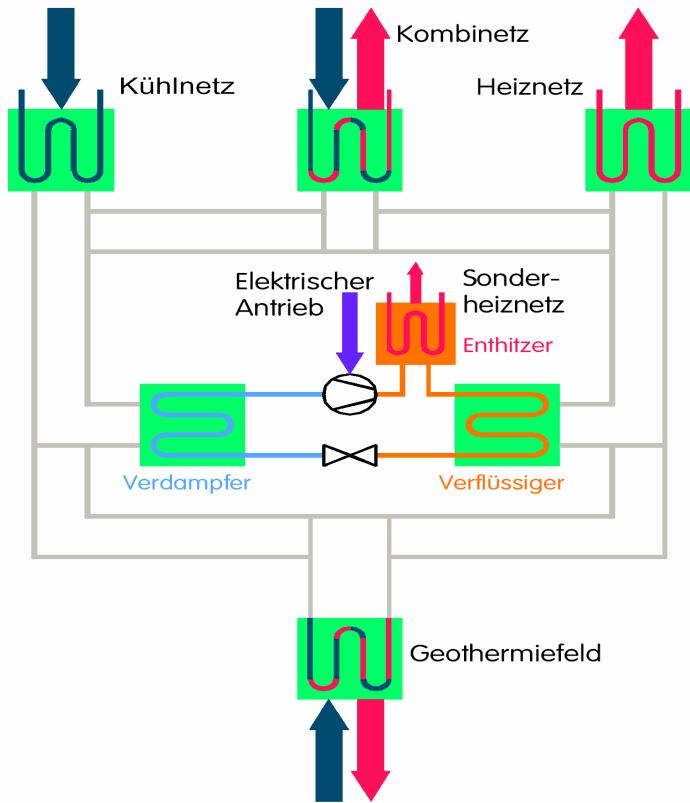
Beispiel aus der Praxis



Beispiel aus der Praxis



Beispiel aus der Praxis



Funktionsprinzip einer geothermischen Energiezentrale, entnommen aus (2)



Die Energiezentrale GEOZENT®, Produktinformation der Fa. Zent-Frenger

Abschnitt 2 „Zu errichtende Gebäude“

.....

§ 3 „Gebäude mit normalen Innentemperaturen“

.....

- (4) Um einen energiesparenden sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen, sind bei Gebäuden, deren Fensterflächenanteil 30 vom Hundert überschreitet, die Anforderungen an die Sonneneintragskennwerte oder die Kühlleistung nach Anhang 1 Nr. 2.9 einzuhalten.

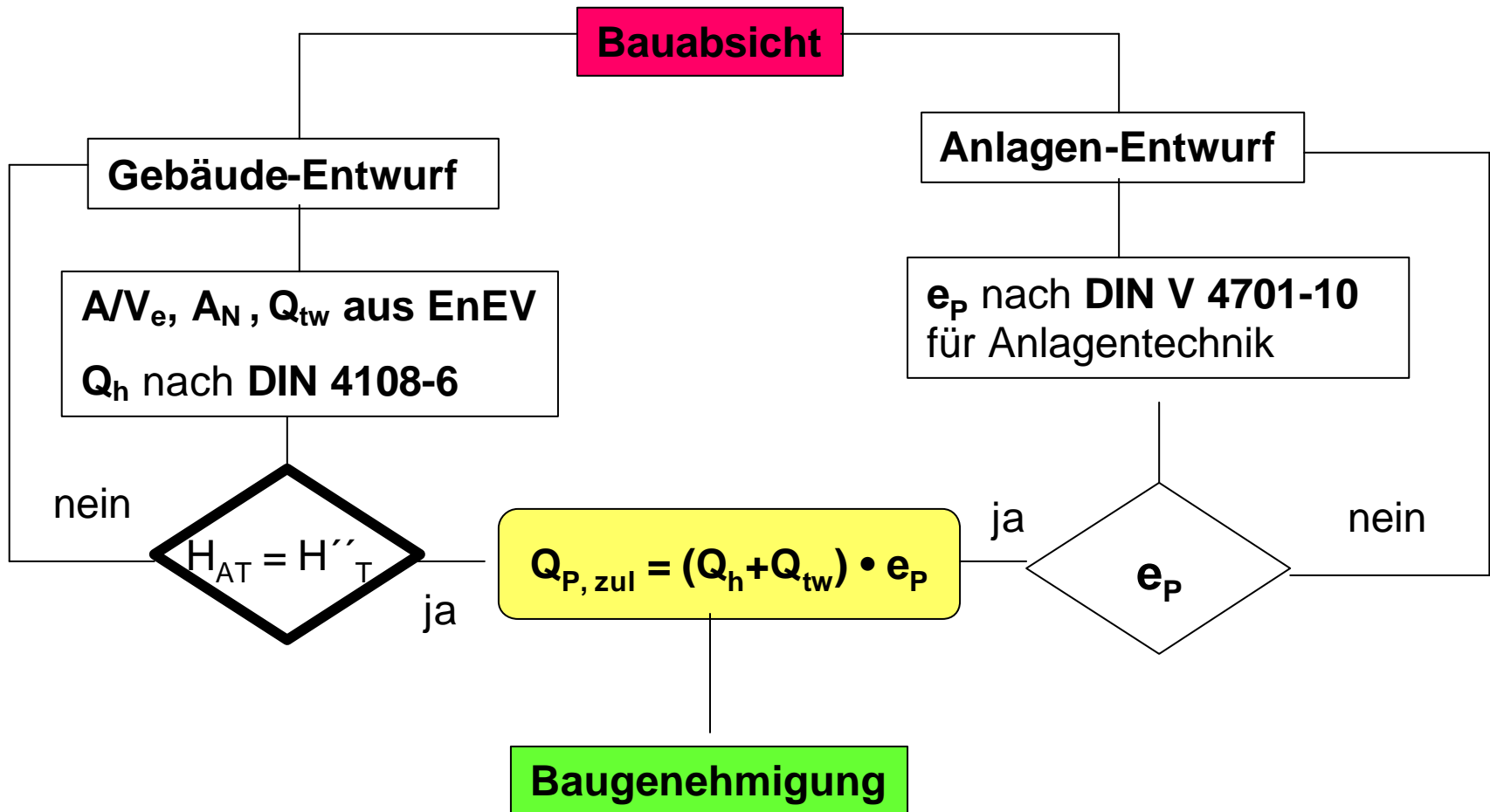
Anhang 1:

2.9 Sommerlicher Wärmeschutz (zu § 3 Abs. 4)

2.9.1 Als höchstzulässige Sonneneintragskennwerte nach § 3 Abs. 4 sind die in DIN 4108 - 2: 2001-03 Abschnitt 8 festgelegten Werte einzuhalten. Der Sonneneintragskennwert des zu errichtenden Gebäudes ist nach dem dort genannten Verfahren zu bestimmen.

2.9.2 Werden Gebäude mit Ausnahme von Wohngebäuden nutzungsbedingt mit Anlagen ausgestattet, die Raumluft unter Einsatz von Energie kühlen, so dürfen diese Gebäude abweichend von Nr. 2.9.1 auch so ausgeführt werden, dass die **Kühlleistung** bezogen auf das gekühlte Gebäudevolumen **nach dem Stand der Technik** und den im Einzelfall **wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen** so **gering wie möglich gehalten wird**. Dabei sind insbesondere die Maßnahmen zu berücksichtigen, die das unter Nr. 2.9.1 angegebene Berechnungsverfahren zur Verminderung des Sonneneintragskennwertes vorsieht.

Energieeinsparverordnung (EnEV): Vorgehensweise



DIN 4701-10: Energetische Anlagenbewertung

DEUTSCHE NORM

Februar 2001

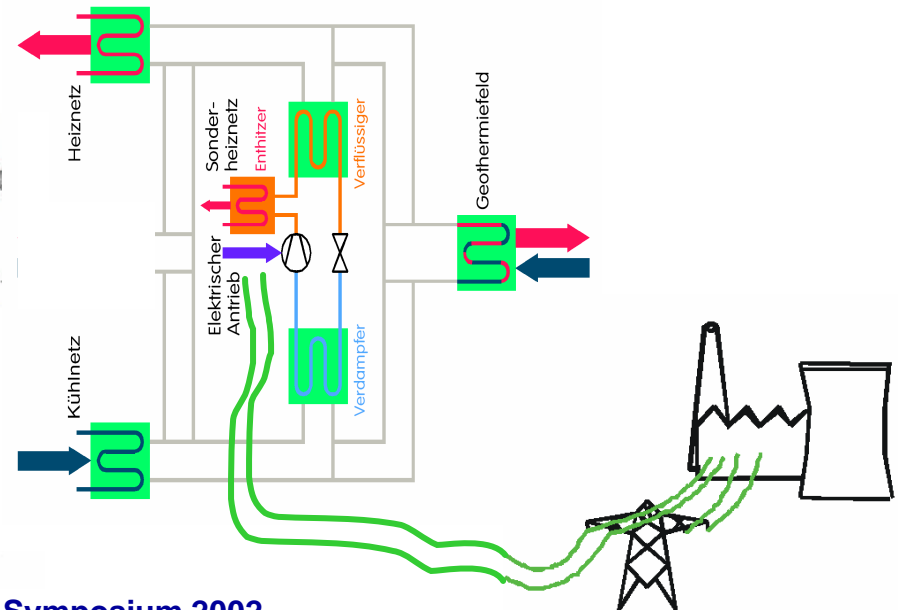
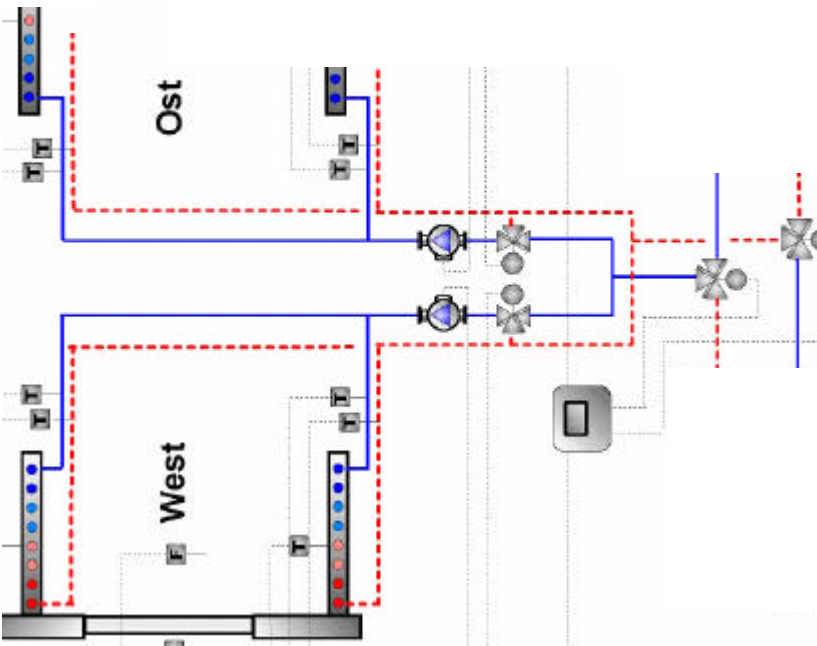
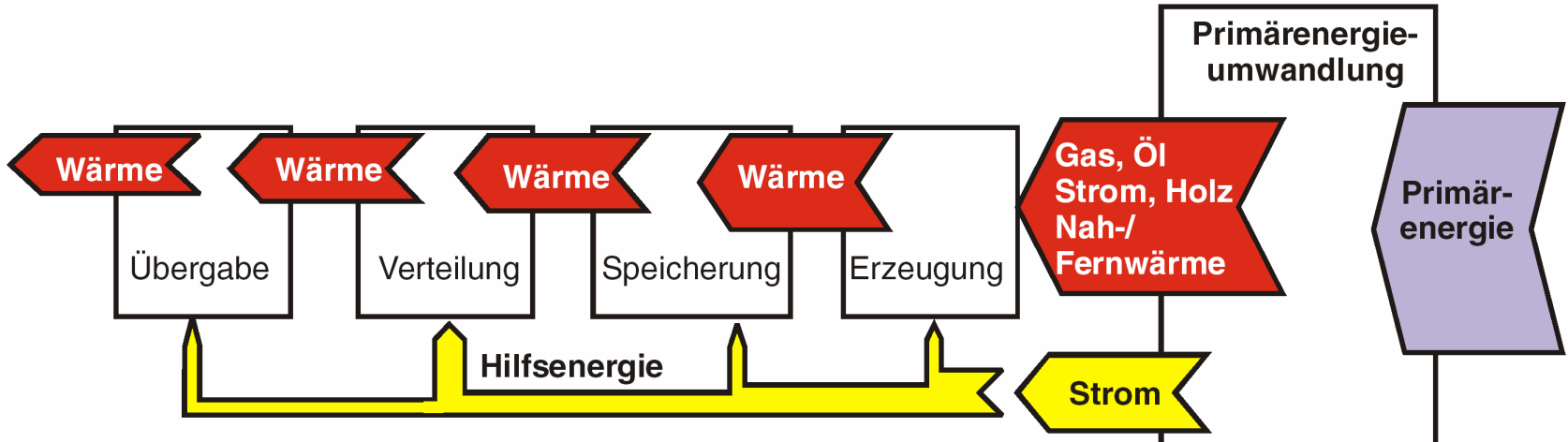
Energetische Bewertung
heiz- und raumluftechnischer Anlagen
Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung

Vornorm
DIN V
4701-10

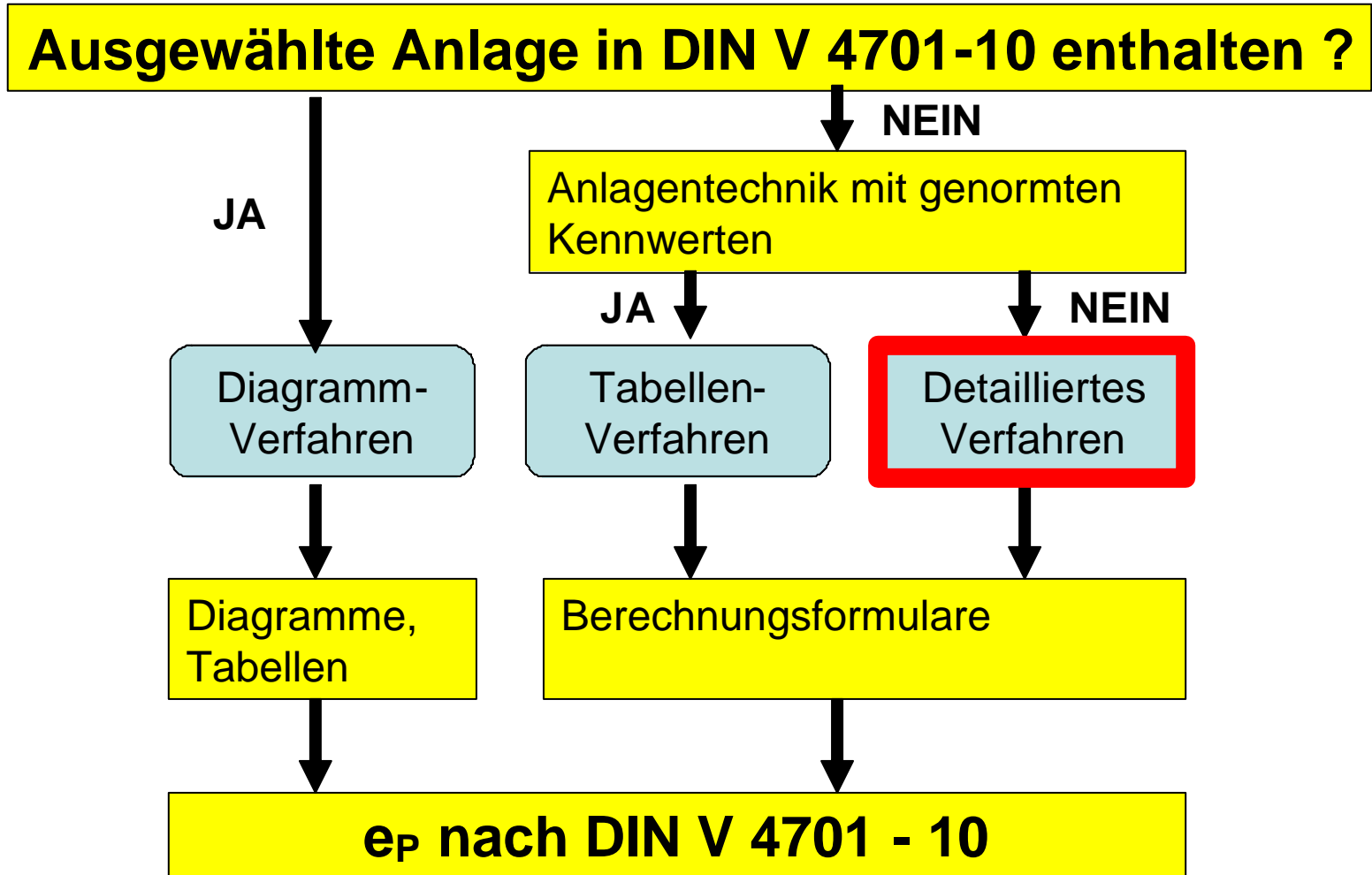
Zitat aus DIN 4701-10:

Diese Norm gilt für Gebäude mit normalen Innentemperaturen im Sinne der Energieeinsparverordnung, die baulich und anlagentechnisch den Anforderungen dieser Verordnung genügen. Dies sind nach der dort gegebenen Definition solche Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von 19 °C oder mehr und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden. Wesentliche Untergruppe dazu sind die Wohngebäude; das sind solche Gebäude, die ganz oder deutlich überwiegend zum Wohnen genutzt werden.

DIN 4701-10: Energetische Anlagenbewertung



DIN 4701-10: Energetische Anlagenbewertung



DIN 4701-10: Energetische Anlagenbewertung

Detailliertes Verfahren:

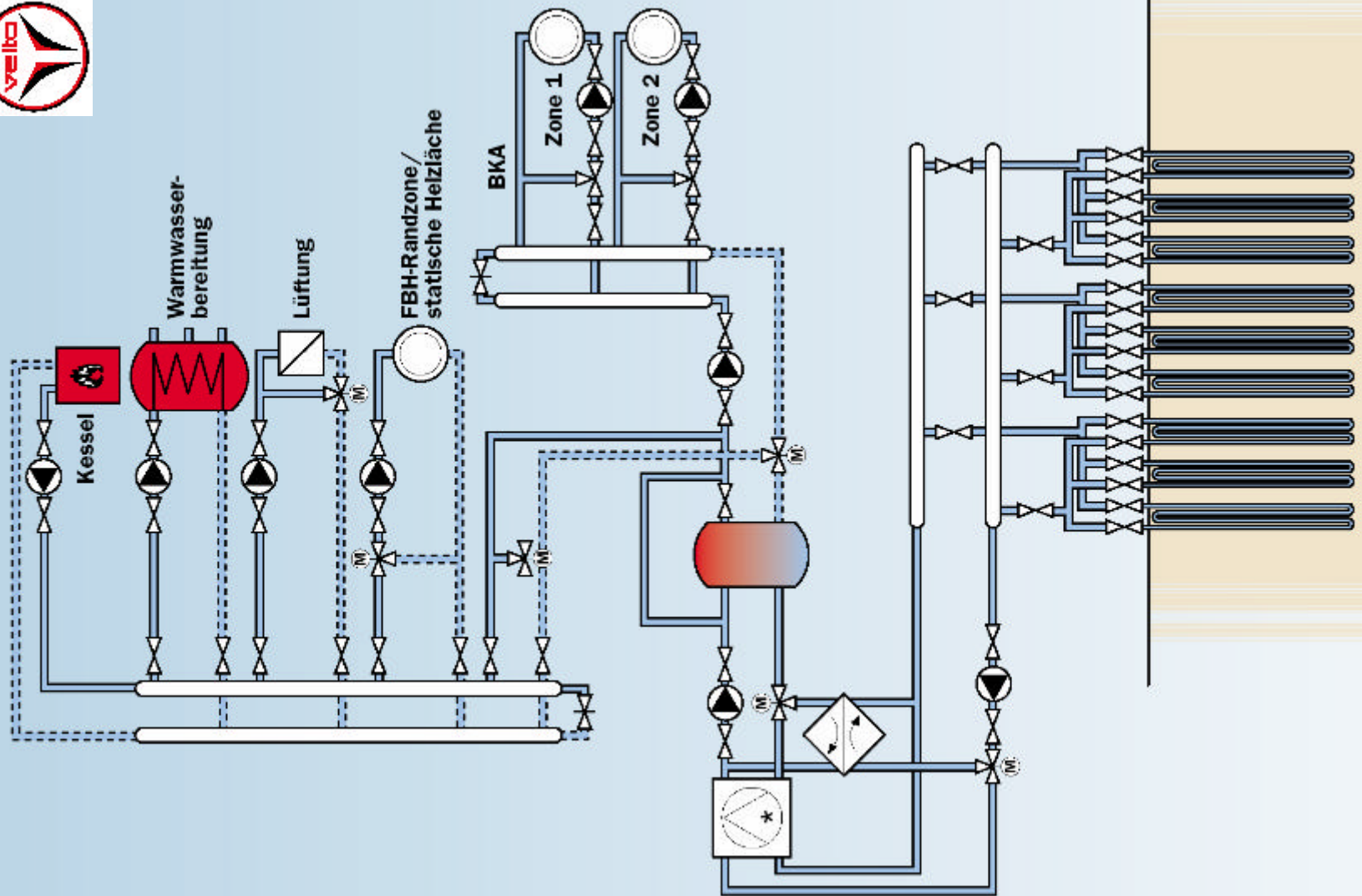
Abschnitt 5.3 „Kenngrößen für Heizungsanlagen zur Deckung des Heizwärmebedarfs Q_h “

Auszug:

$$Q_{H,d,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_i \cdot (\vartheta_{HK,m} - \vartheta_{u,m}) \cdot f_a \cdot f_b \cdot t_{HP} \cdot Z$$

$Q_{H,d,i}$	<i>Wärmeabgabe des Rohrabschnitts i in kWh/a</i>
U_i	<i>langenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient in W/mK</i>
L_i	<i>Länge des Rohrabschnitts i in m</i>
$J_{HK,m}$	<i>mittlere Temperatur des Rohrabschnitts in °C, siehe Tabelle 5-1</i>
$J_{U,m}$	<i>mittlere Umgebungstemperatur in °C, siehe Tabelle 5-2</i>
f_a	<i>Wärmeverlustfaktor in [-], siehe Tabelle 5-2</i>
f_b	<i>Korrekturfaktor in [-], siehe Tabelle 5-2</i>
f_{HP}	<i>Dauer der Heizperiode in d/a, siehe Tabelle 5-2</i>
Z	<i>Laufzeit der Pumpe pro Tag in h/d, siehe Tabelle 5-2</i>

Mögliche F&E-Projekte für Hochschulen



Zusammenfassung und Ausblick

- Die Zukunft der Betonkernaktivierung (BKA) wird unter den veränderten Rahmenbedingungen der EnEV als sehr gut eingestuft und dies unter anderem weil:
- mit der BKA die Nutzung erneuerbarer Energie in hohem Maße möglich ist,
- die Nutzung erneuerbarer Energien zu Heizzwecken von der EnEV gewünscht ist und dies zu Vereinfachungen beim Nachweis führt, wenn der Anteil mindestens 70% beträgt und
- im Sommer mit der BKA der thermische Komfort in Büroräumen vergleichsweise einfach verbessert werden kann unter Nutzung von Umweltenergie.
- Weitere Arbeiten sind notwendig, um dem Planer die maximale Nutzung von erneuerbarer Energie in Verbindung mit BKA aufzuzeigen sowie die Berechnung der e_p -Zahl für BKA zu demonstrieren bzw. zu vereinfachen.