

11. Arbeitskreis Energiemanagement in kleineren Kommunen

Energieeffizienz in Schulen

09.11.2017, Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus

Energieeffizienz in Planung, Ausführung und Betrieb



Dr.-Ing. Volker Grosch

GWJ Ingenieurgesellschaft für Bauphysik GbR

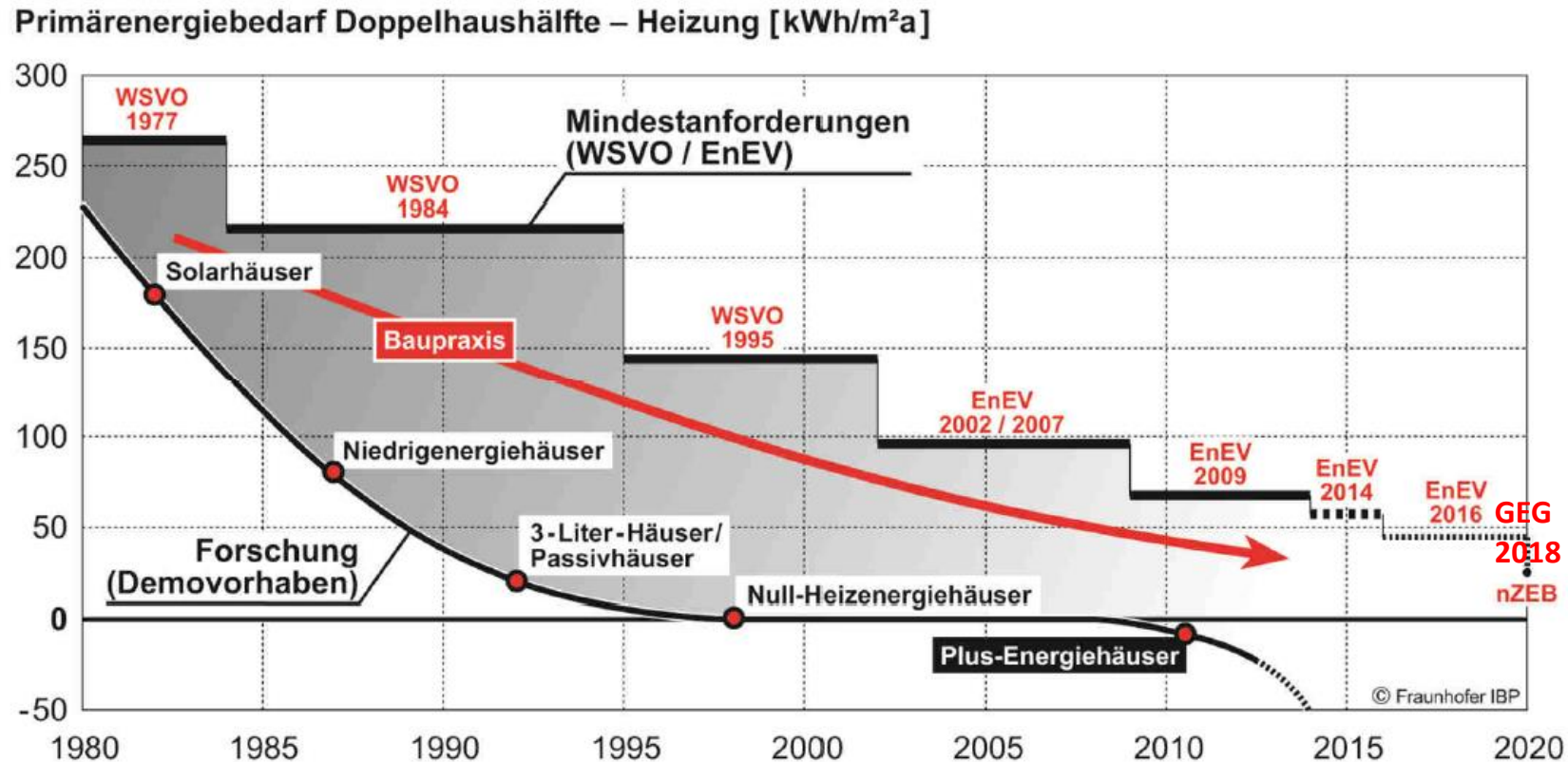
Berliner Str. 62, 03046 Cottbus

Tel. 0355 791689 | www.gwj-bauphysik.de



INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUPHYSIK

1. Entwicklung der energetischen Anforderungen



Quelle: Fraunhofer IBP

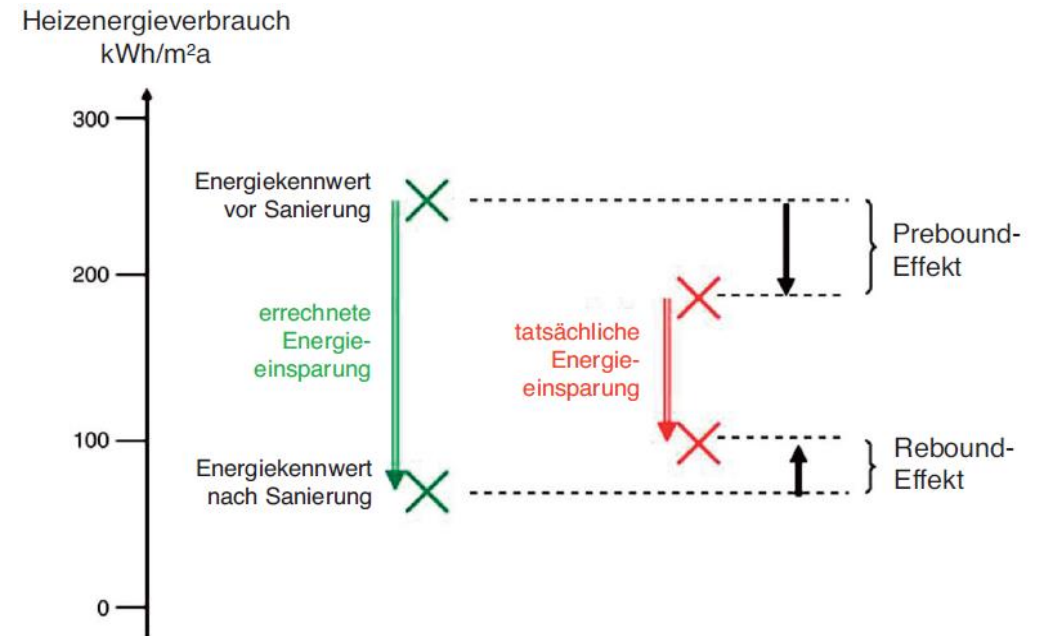
GEG - Gebäudeenergiegesetz, Zusammenfassung von EnEG, EnEV und EEWärmeG
 nur geringfügige Änderungen bei den Anforderungen ggü. EnEV 2016
 Anforderung an nZEB "Niedrigstenergiegebäude" entspricht voraussichtlich **KfW 55**

2. Energiebedarf und Energieverbrauch

Abweichungen zwischen berechnetem Bedarf und Verbrauch (Performance Gap) im Mittel ca. 10-30%, teilweise auch deutlich höher

Ursachen der in der Praxis meist deutlichen Abweichungen sind:

- **Prebound-Effekt** - regelmäßige Überschätzung des Energiebedarfs von Bestandsgebäuden
- **Rebound-Effekt** - geringere Einspareffekte bei Neubau oder Sanierung durch Nutzereinflüsse wie z.B. höhere mittlere Raumtemperatur
- **Unrealistische Berechnungen**, insbesondere durch wenig geeignete Bilanzierungsmethoden oder falsche Berechnungsannahmen
- **Ausführungsqualität und Betrieb** von Anlagen entsprechen oft nicht den Erwartungen



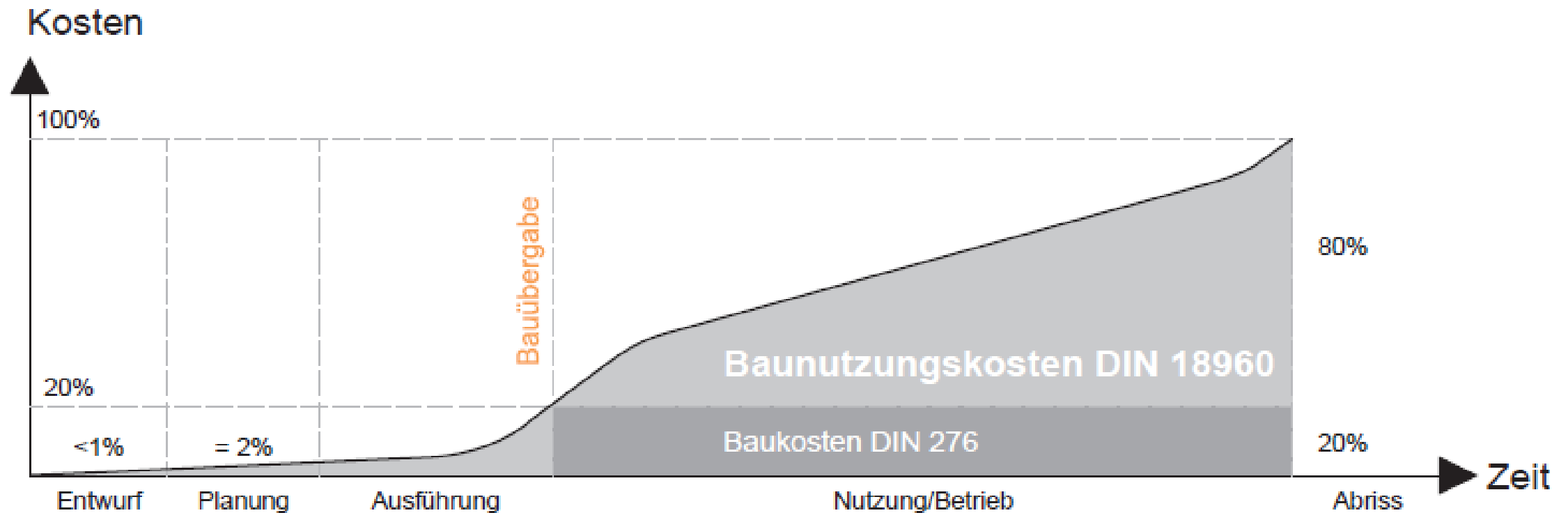
Grafik 4 Begrenzung des theoretischen Energieeinsparpotenzials durch den Prebound-Effekt und den Rebound-Effekt

Quelle: Minna Sunikka-Blank und Ray Galvin, Department of Architecture, University of Cambridge 2012 (deutsche Fassung: Rainer Scheppelmann, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg)

3. Einfluss von Planung und Betreuung

Kostenentwicklung und Kostenbeeinflussung

- Baunutzungskosten deutlich höher als Baukosten bei Betrachtung über Lebenszyklus

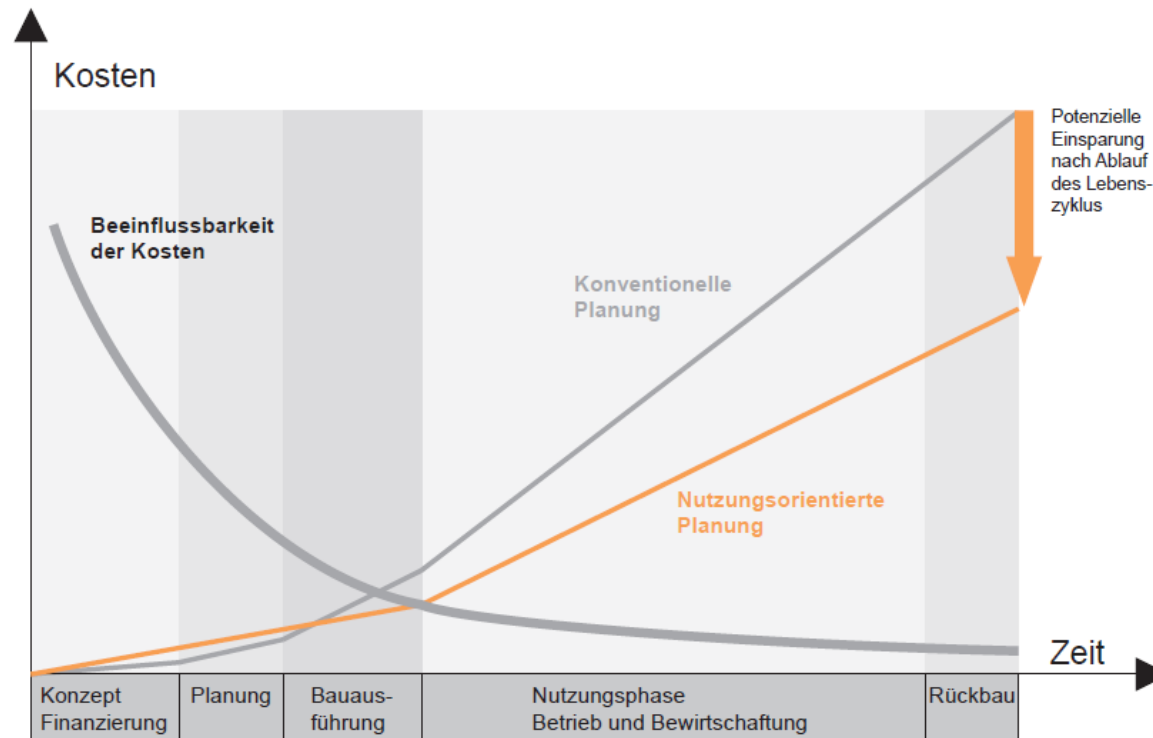


Quelle: Judith Schönweitz "Gebäude wirtschaftlich planen"

3. Einfluss von Planung und Betreuung

Kostenentwicklung und Kostenbeeinflussung

- Beeinflussbarkeit der Kosten in frühen Planungsphasen hoch
- nutzerorientierte, integrale Planung unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus empfohlen



Quelle: Judith Schönweitz "Gebäude wirtschaftlich planen"

4. Planungsoptimierung - Gesamtkostenberechnung über den Lebenszyklus

Warum?

- Bei jedem Gebäude gibt es verschiedene Möglichkeiten zur der Erfüllung der energetischen Anforderungen. Variantenuntersuchungen sind eine Grundleistung nach HOAI.
- Zwischen den **Investitionskosten**, **Betriebskosten** und **Folgekosten** bestehen zahlreiche Abhängigkeiten.
- Starker Anstieg der Folgekosten durch Wartung und Instandhaltung mit steigendem Technisierungsgrad
- Die wirtschaftlichste Variante kann i.d.R. nur durch einen fundierten Variantenvergleich unter Berücksichtigung aller Kosten identifiziert werden, Wirtschaftlichkeitsberechnung als nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage

Wann?

- Vorzugsweise zum Ende der Vorplanung
- Ggf. Aktualisierung bzw. Fortschreibung in der Entwurfsplanung

Variante 1

Variante 2

Variante 3

4. Planungsoptimierung - Gesamtkostenberechnung über den Lebenszyklus

1. Gesamtkosten							
Konzeption und Gestaltung, Hochbauamt der Stadt Frankfurt am Main, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenerfelder: grau							
A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung		Landesamt Bergbau, Geologie und Rohstoffe	A2 KSIB.			
A3	Gebäudebezeichnung		Erweiterung als Neubau für das LBGR	A4 Str.-Nr.			
A5	Straße		Inselstr. 26, 03046 Cottbus	A8 Haus-Nr.			
A7	Betrachtungszeitraum	40	A8 Währung	€			
A9	Kapitalzins*	3,1%	A10 Annuitätsfaktor	0,044			
A11	Preissteigerung Energie	5%	A12 Mittelwertfaktor Ener.	2,61			
A13	Preissteigerung sonstiges	3%	A14 Mittelwertfaktor son.	1,72			
B. Varianten							
B0	Bezeichnung						
B0	Basisvariante EnEV 2007						
B1	Energiesparvariante mit Fernwärme						
B2	Energiesparvariante mit Wärmepumpe						
B3	Variante						
B4	Variante						
C. Kenngrößen							
C1	Bezugsfläche (NGF)	1.342	1.342	1.342	1.342	1.342	m²
C2	Personenzahl	30	30	30	30	30	P
C3	spez. Heizwärmebedarf	86	20	20			kWh/m²a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	93%	93%			%
C5	spez. Strombezug	33	26	26			kWh/m²a
C6	spez. CO2-Emissionen	42	23	22			kg/m²a
C7	spez. Trinkwasserbezug	120,28	99,72	99,72			l/m²a
D. Kapitalkosten							
D1	Investitionskosten (DIN 276)	3.149.120	3.345.560	3.423.452			€
D2	Zuschüsse/Eröse						€
D3	Eigenkapitalersatz	3.149.120	3.345.560	3.423.452	0	0	€
D4	Kapitalkosten	138.449	147.086	150.510	0	0	€/a
D5	spez. Kapitalkosten	103	110	112	0	0	€/m²a
E. mittl. Betriebskosten							
E1	Personal+Reinigungskosten	16.223	16.223	16.223			€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	33.733	37.314	39.217			€/a
E3	Heizkosten	10.636	3.980	1.475			€/a
E4	Stromkosten	14.197	13.079	13.079			€/a
E5	Wasserkosten	781	648	648			€/a
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a
E7	heutige Betriebskosten	75.570	71.244	70.643	0	0	€/a
E8	mittl. Betriebskosten	152.393	138.014	134.748	0	0	€/a
E9	spez. Betriebskosten	114	103	100	0	0	€/m²a
F. Umweltfolgekosten							
F1	CO2-Emissionen (50 €/t)	2.824	1.520	1.447			€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	161	134	134			€/a
F3	Umweltfolgekosten	2.986	1.654	1.581	0	0	€/a
F4	spez. Umweltfolgekost.	2	1	1	0	0	€/m²a
G. Gesamtkosten							
G1	Gesamtkosten	293.828	286.754	286.839	0	0	€/a
G2	spez. Gesamtkosten	219	214	214	0	0	€/m²a
G2	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		16,1	19,4			a

1. Gesamtkosten							
Konzeption und Gestaltung, Hochbauamt der Stadt Frankfurt am Main, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenerfelder: grau							
A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung		Landesamt Bergbau, Geologie und Rohstoffe	A2 KSIB.			
A3	Gebäudebezeichnung		Erweiterung als Neubau für das LBGR	A4 Str.-Nr.			
A5	Straße		Inselstr. 26, 03046 Cottbus	A8 Haus-Nr.			
A7	Betrachtungszeitraum	40	A8 Währung	€			
A9	Kapitalzins*	3,1%	A10 Annuitätsfaktor	0,044			
A11	Preissteigerung Energie	5%	A12 Mittelwertfaktor Ener.	2,61			
A13	Preissteigerung sonstiges	3%	A14 Mittelwertfaktor son.	1,72			
B. Varianten							
B0	Bezeichnung						
B0	Basisvariante EnEV 2007						
B1	Energiesparvariante mit Fernwärme						
B2	Energiesparvariante mit Wärmepumpe						
B3	Variante						
B4	Variante						
C. Kenngrößen							
C1	Bezugsfläche (NGF)	1.342	1.342	1.342	1.342	1.342	m²
C2	Personenzahl	30	30	30	30	30	P
C3	spez. Heizwärmebedarf	86	20	20			kWh/m²a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	93%	93%			%
C5	spez. Strombezug	33	26	26			kWh/m²a
C6	spez. CO2-Emissionen	42	23	22			kg/m²a
C7	spez. Trinkwasserbezug	120,28	99,72	99,72			l/m²a

Gesamtkosten

Formulare im Internet unter: www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/

Beispiel:
Excel-Datei
Gesamtkosten-
berechnung

Download:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/



4. Planungsoptimierung - Sommerlicher Wärmeschutz

Ausführungsempfehlung für Schulen

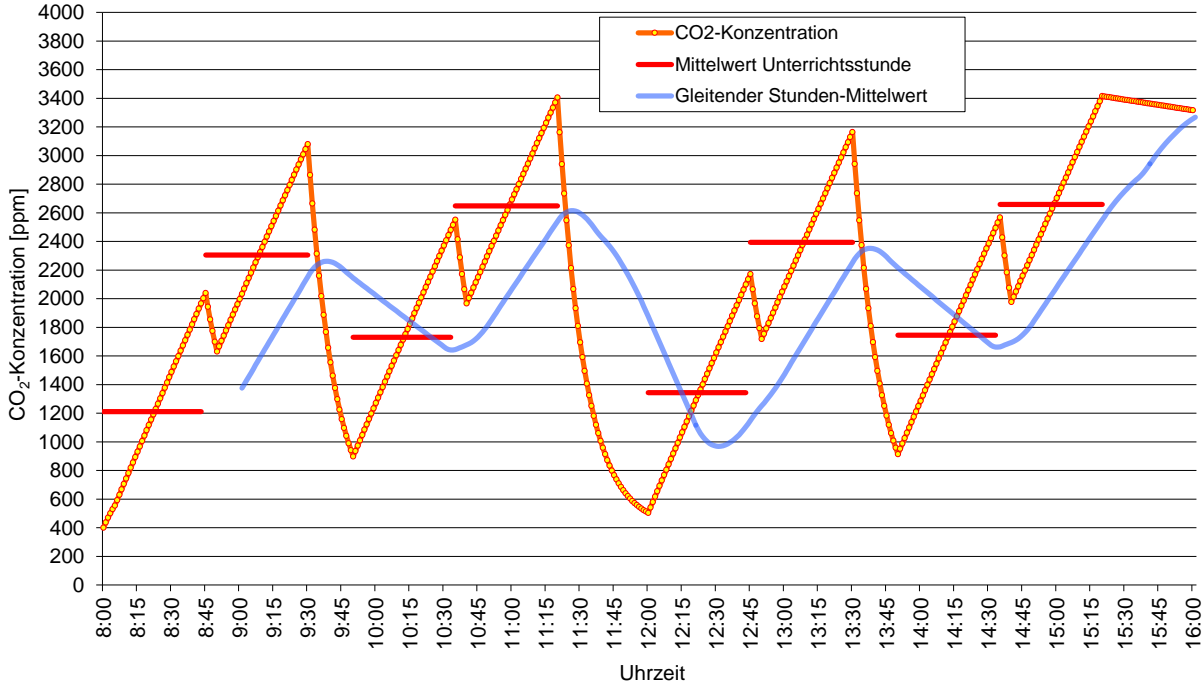
- Fensterflächenanteil möglichst < 30 ... 35 % der Grundfläche
- Effizienter äußerer Sonnenschutz (windstabil, vorzugsweise mit Tageslichtfunktion)
- Schwere Bauweise, d.h. hohe innere Wärmekapazität $c_{\text{wirk}}/A_G \geq 150 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
- Bedarfsgerechte Tag- und Nachtlüftung in Hitzeperioden
maschinelle Lüftung immer mit Bypassfunktion
- Nutzerfreundliche Steuerungskonzepte für Sonnenschutz und Lüftung

Variante	Bezeichnung Klimaregion B	Bauart	Nacht- lüftung	passive Kühlung	NGF A _G [m ²]	Süd/Ost/ West			A _w [m ²]	f _{wG}	S	S _{zul}	Nachweis	S/S _{zul}	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
						Aw [m ²]	g [-]	Fc [-]												
L1	Grundvariante leicht	leicht	ohne	nein	60,00	21,00	0,50	0,25	21,00	0,350	0,044	-0,003	Nicht erfüllt!	n.b.	0,007	-0,010				
L2	mit Sonnenschutzglas	leicht	ohne	nein	60,00	21,00	0,40	0,25	21,00	0,350	0,035	0,027	Nicht erfüllt!	131%	0,007	-0,010	0,030			
L3	mit Nachtlüftung	leicht	erhöht	nein	60,00	21,00	0,50	0,25	21,00	0,350	0,044	0,050	Erfüllt	88%	0,060	-0,010				
L4	mit Sonnenschutzglas+Nachtlüftung	leicht	erhöht	nein	60,00	21,00	0,40	0,25	21,00	0,350	0,035	0,080	Erfüllt	44%	0,060	-0,010	0,030			
L5	mit Sonnenschutzglas+passiver Kühlung	leicht	ohne	ja	60,00	21,00	0,40	0,25	21,00	0,350	0,035	0,047	Erfüllt	75%	0,007	-0,010	0,030			0,020
S1	Grundvariante schwer	schwer	ohne	nein	60,00	21,00	0,50	0,25	21,00	0,350	0,044	0,008	Nicht erfüllt!	565%	0,018	-0,010				
S2	mit Sonnenschutzglas	schwer	ohne	nein	60,00	21,00	0,40	0,25	21,00	0,350	0,035	0,038	Erfüllt	93%	0,018	-0,010	0,030			
S3	mit Nachtlüftung	schwer	erhöht	nein	60,00	21,00	0,50	0,25	21,00	0,350	0,044	0,082	Erfüllt	54%	0,092	-0,010				
S4	mit Sonnenschutzglas+Nachtlüftung	schwer	erhöht	nein	60,00	21,00	0,40	0,25	21,00	0,350	0,035	0,112	Erfüllt	31%	0,092	-0,010	0,030			
S5	mit Sonnenschutzglas+passiver Kühlung	schwer	ohne	ja	60,00	21,00	0,50	0,25	21,00	0,350	0,044	0,068	Erfüllt	65%	0,018	-0,010				0,060

4. Planungsoptimierung - Lüftungskonzept (Klassenraum)

Fensterlüftung

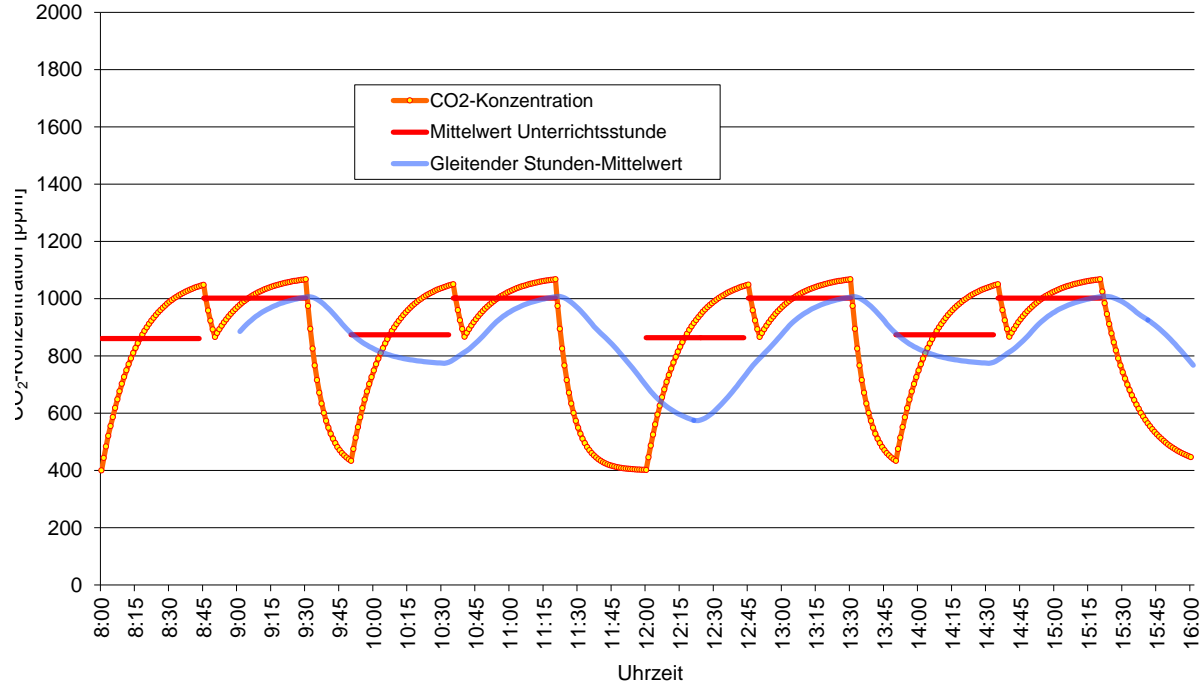
Verlauf der CO₂-Konzentration Schulraum



Simulation der CO₂-Konzentration für Unterrichtsraum 60 m², V = 180 m³
Mit 25 Schülern (Unterstufe) + Lehrer, Pausenlüftung jeweils mit n = 5 h⁻¹
hier mit Infiltrationsluftwechsel n = 0,05 h⁻¹

Maschinelle Lüftung (Zielwert CO₂: ≤ 1000 ppm)

Verlauf der CO₂-Konzentration Schulraum



hier mit Außenluftvolumenstrom 580 m³/h bzw. n = 3,22 h⁻¹



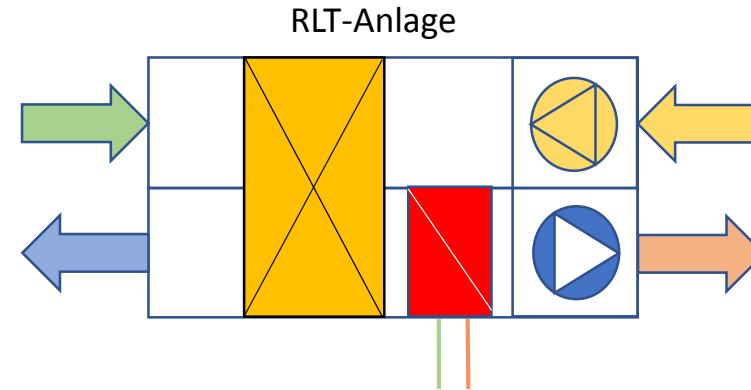
4. Planungsoptimierung - Lüftungskonzept (Klassenraum)

Ausführungsvarianten maschinelle Lüftung

- Abluftanlage
- Zu- und Abluftanlage, ohne/mit WRG
- zentral, semizentral, dezentral

Vorteile maschineller Lüftung

- bessere Luftqualität
(CO₂-Konzentration, Schadstoff- und Staubbelastung)
- Möglichkeit einer Nachtlüftung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes



Risiken

- Behaglichkeitseinschränkungen
(niedrige Luftfeuchte bei hohem Luftwechsel, Zegerscheinungen, Geräusche)
- hohe Investitions- und Betriebskosten
(zusätzlicher Raumbedarf, Brandschutz, Strombedarf, Wartung und Instandhaltung, begrenzte Lebensdauer)
- oft mangelnde Akzeptanz der Nutzer
- Steuerung nicht trivial, fehleranfällig

4. Planungsoptimierung - Lüftungskonzept (Klassenraum)

Planungsempfehlungen maschinelle Lüftung

- frühzeitige **Abstimmung** des Lüftungskonzepts mit dem **Brandschutz**
- wenn möglich, **Mehrfachnutzung** der Luft durch Überströmung (auch bei Sporthallen)
- **Luftmengen** auf das notwendige Minimum begrenzen (IDA 4 bzw. 15-20 m³/h je Schüler nach Empfehlung PHI), um die Luftfeuchte auf mind. 30-35 % zu halten
- Einsatz von Anlagen mit hoher Stromeffizienter SFP 1-2, Wärmerückgewinnung mind. 80%
- Trennung von Lüftungs- und Heizungssystem
- einfache Zeitsteuerung (Nutzungszeit zuzüglich Vor- und Nachspülzeit)
- einfache manuelle Regelmöglichkeit (z.B. Stufenschalter)
- Pausenlüftung und gelegentliche Zusatzlüftung über Fenster
- Sommerlüftung möglichst über Fenster
- Nutzer- und Betreiberhandbuch

- **Alternativen** prüfen: z.B. **hybride Lüftung**, Schachtlüftung, automatische Fensterlüftung ...

4. Planungsoptimierung - Low-Tech vs. High-Tech in der Gebäudetechnik

- In effizienten Gebäuden ist i.d.R. **keine Amortisation** aufwändiger Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) durch Betriebskosteneinsparungen möglich (vgl. Vortrag Prof. Bretzke auf der Passivhaustagung 2012).

Energiekosten Klassenraum: Beispiel Passivhaus	ca. 150 €/a	Investitionskosten und Einsparungen bei MSR-Technik je Klassenraum: einfache MSR ca. 200-500 € mögliche Einsparung durch Nutzungszeit	komplexe MSR 1.000-1.500 € komplexe MSR 15-20% bzw. 20-30 €/a komplexe MSR 10-15 a
		Einsparung über die Nutzungszeit	200-450 €

- Komplexe Steuerungen haben ein höheres **Ausfallrisiko** und einen höheren **Wartungsaufwand**
- **Einregulierung** komplexer Systeme ist aufwändiger, erhöhte **Fehler- und Fehlbedienungsanfälligkeit**
- Nutzung der Vorteile von Automationssystemen ist erst durch entsprechend **geschultes Personal** möglich (anderenfalls sinkt mit Auftreten von Fehlern die Akzeptanz durch den Nutzer bzw. es gibt keine Einspareffekte oder Komfortvorteile)
- BBR-Projekt "Praxistest der Auswirkungen von Einzelraumregelung für Heizung, Lüftung und Beleuchtung auf Energieeinsparung bzw. Senkung der Betriebskosten" (2013) konnte die erwarteten Einspareffekte nicht bestätigen.

Fazit "so wenig Technik wie möglich, so viel Technik wie nötig"

4. Planungsoptimierung - Prozess von Leistungsphase 1-8

Grundlage

- Detaillierte **Zielvereinbarungen / Leitlinien** (Bauherr)

Planungsprozess

- Planungsbegleitende Prüfung der Einhaltung der Planungsvorgaben, vorzugsweise durch Energiemanagement
- **Integrale Planung** unter der Beteiligung der Nutzer und der Betreiber
- Optimierung der Planung u.a. durch Energiekonzept / Variantengegenüberstellung / Nutzung von Synergien
- Ggf. Einbindung baulicher Aspekte in das pädagogische Konzept (Prinzip "Baukörper gleich Lehrkörper")
- Schadstoffminimierung im Gebäude in der Ausschreibung berücksichtigen (Baustoffe)
- ...

5. Ausführungsüberwachung / baubegleitende Qualitätssicherung

- Prüfen der planungskonformen Bauausführung (HOAI-Leistung)
- Erstellen erforderlicher Dokumentationen, Wartungs-, Inspektions-, Betriebs- und Pflegeanleitungen sowie Nutzerhandbuch, Aktualisierung Raumbuch
- Baubegleitende **Qualitätskontrollen**, z.B. BlowerDoor, Thermografie, Akustik ...
- Berücksichtigung von Qualitätskontrollen im Bauablaufplan



6. Inbetriebnahme

Grundlagen

- qualifizierte planungsseitige Vorbereitung (Bauablaufplanung, Komponenten und Parameter für Erfolgskontrolle)
- gesicherte Zugänglichkeit der Planungs-/Bedarfvorgaben, Betriebs- und Nutzerhandbuch etc.
- qualifizierte Einarbeitung des Personals (Techniker, Hausmeister, Nutzer)
- Einregulierungsphase 1-2 Jahre (ggf. Einregulierungsmonitoring)

Empfehlungen

- Inbetriebnahme braucht **höheren Stellenwert im Bauprozess** - "Inbetriebnahmemanagement"
- Nutzung von **Checklisten** zur Dokumentation und Erfolgskontrolle (Planungsparameter, erforderliche Prüfungen/Protokolle, Dokumentation von Datenübergabe an Nutzer/Betreiber und Einweisung ...)

7. Betriebsoptimierung

Grundlagen

- **Monitoring** von Betriebsparametern (Anlagenzustände, Verbräuche, Raumparameter, ...)
- **Geschultes Personal** oder Beauftragung externer Partner (Planer)
- **Nutzerbeteiligung**

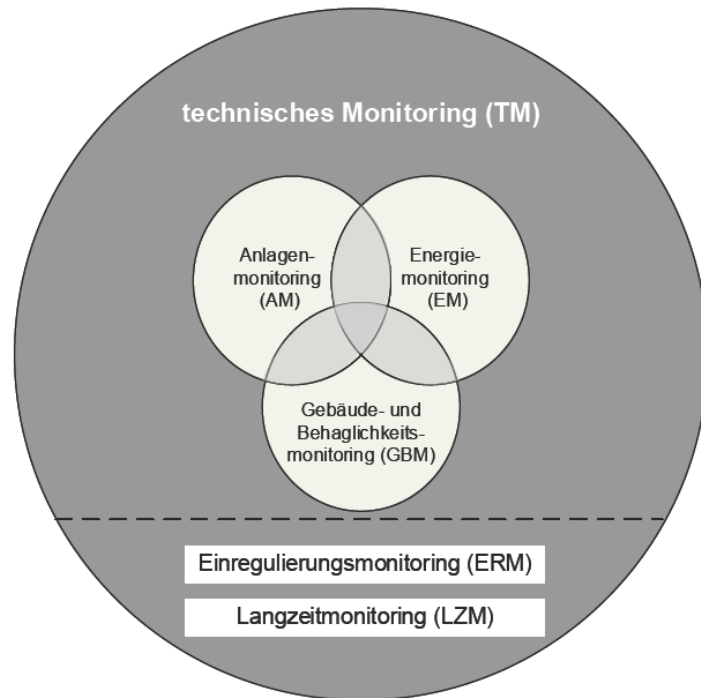
Aufgaben

- **Optimierung** auf verschiedene Betriebsparameter möglich, die sich teilweise widersprechen können (Betriebsparameter Wartung, Verbrauch, Kosten, Behaglichkeit, Komfort, ...)
- Beispiele: Einstellung Vor- und Rücklauftemperaturen/Heizkurve, JAZ bei Wärmepumpen, Regelstrategien Lüftung, Kühlung, Sonnenschutz, Optimierung von Regelungskonzepten der GLT

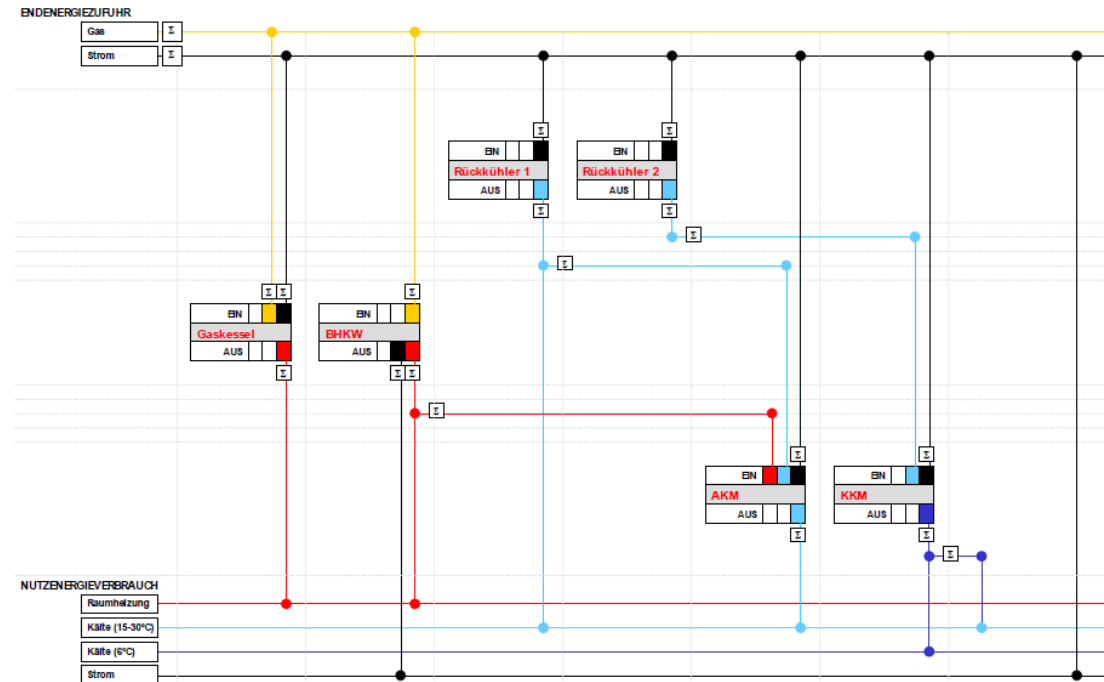
7. Betriebsoptimierung - Monitoring als Grundlage

Technisches Monitoring

- Erstellung **Monitoringkonzept** in einer frühen Planungsphase
- VDI 6041 - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen



Quelle: VDI 6041



Quelle: Leitfaden für das Monitoring der Demonstrationseinheiten im Förderkonzept EnBau und EnSan

8. Energiemanagement - integrale Betrachtung von Planen, Bauen und Betreiben

Prozessbegleitung im Idealfall durch kommunales Energiemanagement

- Ziele Energieverbrauch und -kosten senken, Förderung regionaler und dezentraler Erzeugung, insbesondere durch Einsatz Erneuerbarer Energien, hohe Nutzerzufriedenheit
- **Strategisches Energiemanagement** Erarbeitung langfristiger Konzeptionen, die gebäudeübergreifend die energetische Strategie und Ausrichtung einer Kommune bestimmen
- **Operatives Energiemanagement** Begleitung konkreter Investitionsmaßnahmen, Energiecontrolling, Betriebsoptimierung
- Fortlaufender Prozess nach dem Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung (PDCA-Zyklus als Grundlage aller Qualitätsmanagementsysteme)
- Grundlagen Energieleitlinien des Deutschen Städtetags, AMEV: Energie 2010, DIN ISO 50001, DIN EN 16001, GEFMA Richtlinie 124

