

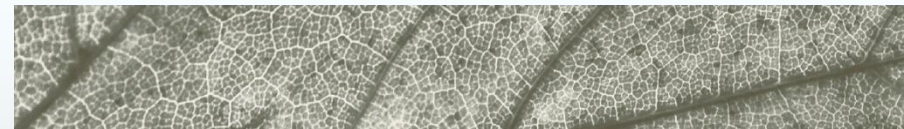
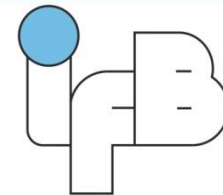
10. Nürnberger Bauseminar

Bauphysikalisches Spannungsfeld zwischen WU-Beton und hochwertig genutzten Räumen ?

Dipl.-Ing. (FH) Wolff Fülle

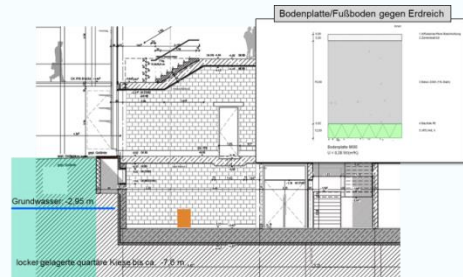
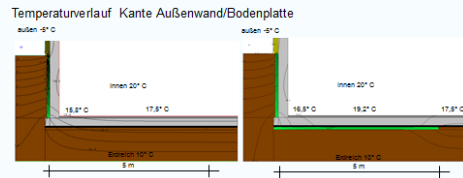
WOLFGANG SORGE
INGENIEURBÜRO
FÜR BAUPHYSIK

Beratende Ingenieure VBI



beraten • planen • prüfen

Inhalt



Spannungsfeld Bauphysik/Definitionen Wärmeschutz

- Mindestwärmeschutz
- Energieeinsparverordnung
- Sommerkondensat
- Maßnahmen Wärmeschutz

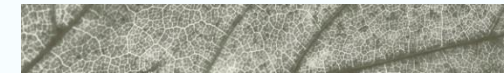
Feuchteschutz

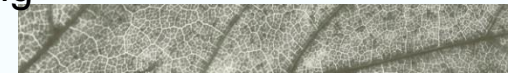
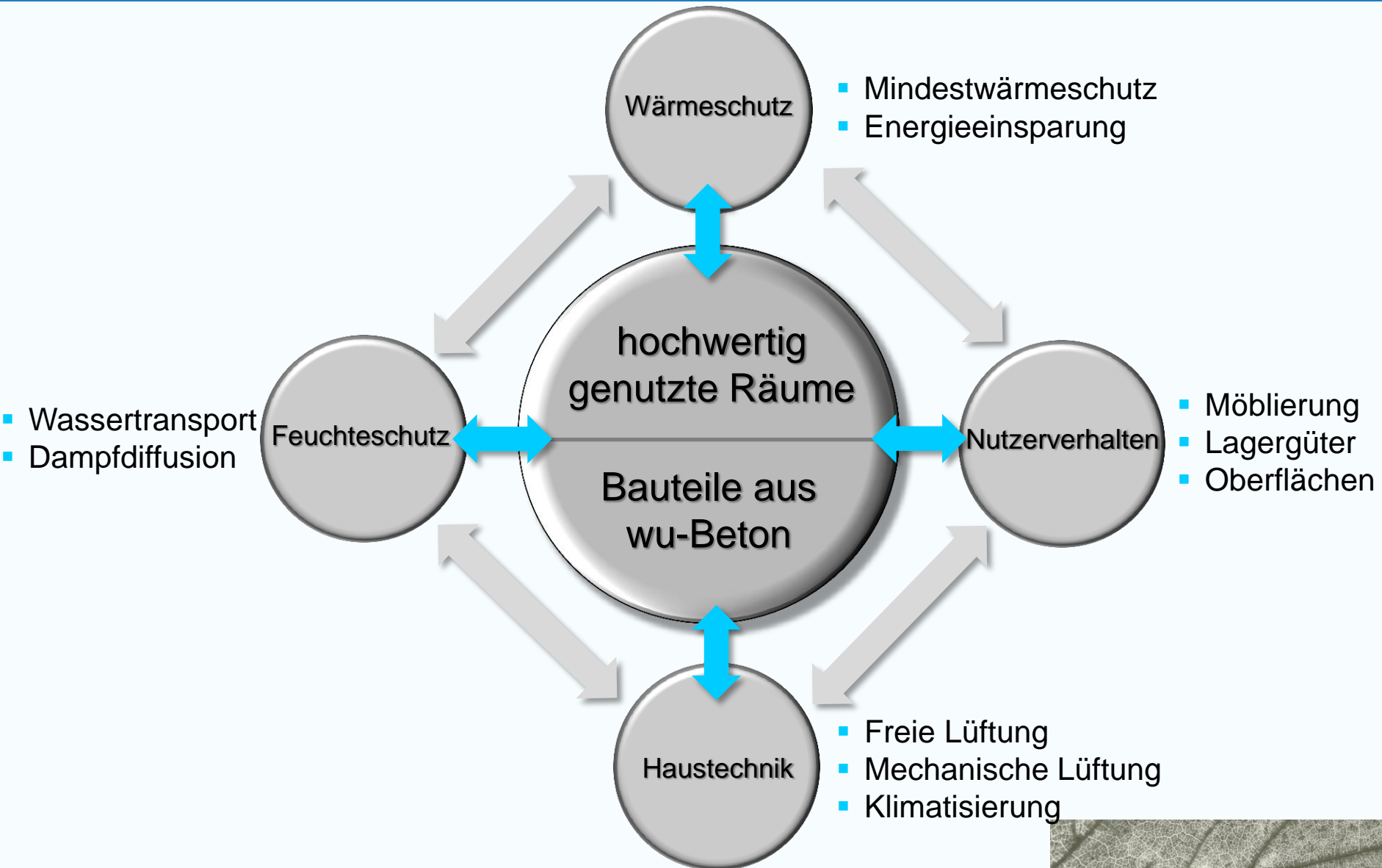
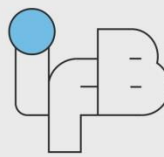
- Feuchte Transportvorgänge
- Transportvorgänge im wu-Beton
- Wasserdampfdiffusion
- Feuchtebilanz eines Lagerraumes

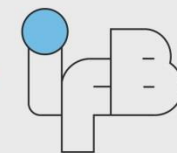
Projektbeispiele

Zusammenfassung

Planungsleistung Bauphysik





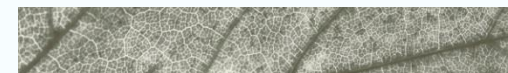


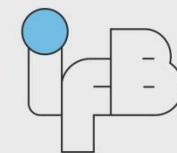
Definition „hochwertig genutzte Räume“

Nutzungsklassen bei hochwertiger Nutzung (gem. DBV-Merkblatt)

Nutzungsklasse	Unterklasse	Beispiel
A Standard für Wohnungsbau Lagerräume mit hochwertiger Nutzung	A ^{***}	Archive, Bibliotheken, Lager für feuchteempfindliche Güter
	A ^{**}	Dauerhafter Aufenthalt von Menschen Büro- und Wohnräume, Technikzentralen Werkstätten
	A [*]	Zeitweiser Aufenthalt von wenigen Menschen, ausgebaute Kellerräume, Hobbyräume
	A ⁰	Einfache Technikräume

- Energieeinsparverordnung
 - Räume innerhalb des beheizten Gebäudevolumens
- DIN 4108-2
 - Räume, die ihrer Bestimmung nach auf übliche Innentemperaturen ($\geq 19^\circ \text{C}$) oder auf niedrige Innentemperaturen ($\geq 12^\circ \text{C}$ und $\leq 19^\circ \text{C}$) beheizt werden





DIN 4108-2:2013-02 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung –
Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“

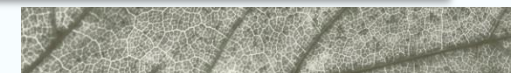
Schadensfreiheit, hygienische Lebensbedingungen, Energieeinsparung

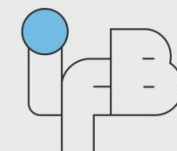
Bauteil	Wärmedurchlass- widerstand	Dämmstoffdicke	
Wände beheizter Räume gegen Erdreich	$R \geq 1,20 \text{ (m}^2\text{K)/W}$	WLG 040	5 cm
		WLG 035	4 cm
Unterer Abschluss (z.B. Sohlplatten) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	$R \geq 0,90 \text{ (m}^2\text{K)/W}$	WLG 040	4 cm
		WLG 035	3 cm

Hinweis: Bei der Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes R werden nur die raumseitigen Schichten bis zur Bauwerksabdichtung berücksichtigt (Ausnahme: Perimeterdämmung!)

Vorsicht: Bei wu-Beton Bauteilen ohne Wärmedämmung:
unrealistische und zu hohe Wärmedurchgangskoeffizienten!

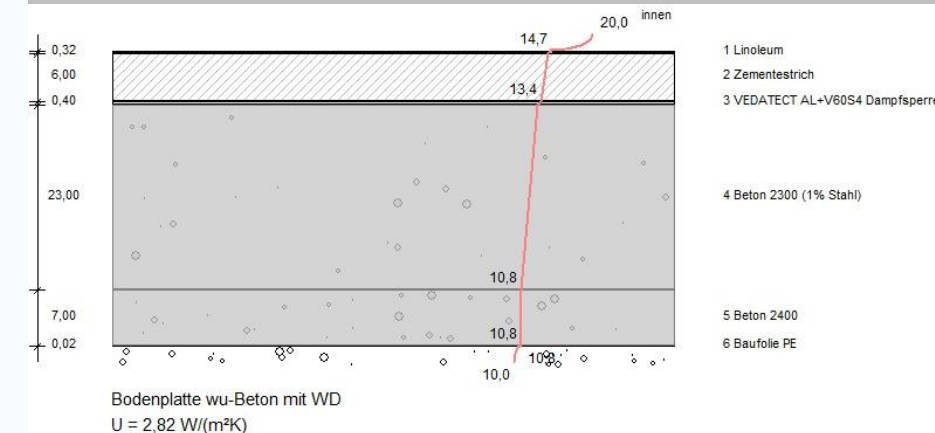
Wärmebrücken	Minimale Oberflächentemperatur
Bauteile beheizter Räume Norm-Klimabedingungen: 20° C, 50 % r.F	12,6° C



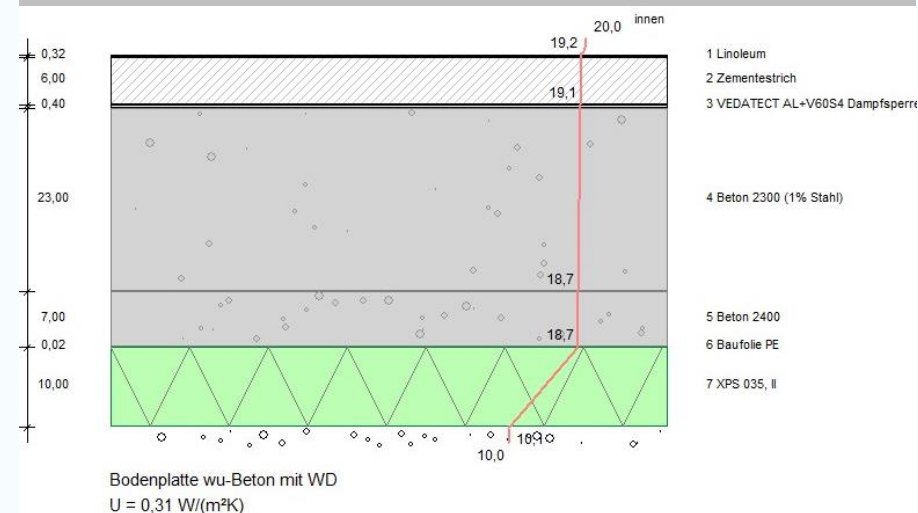


Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient

Bodenplatte wu-Beton



Bodenplatte wu-Beton, 5 m Randstreifen

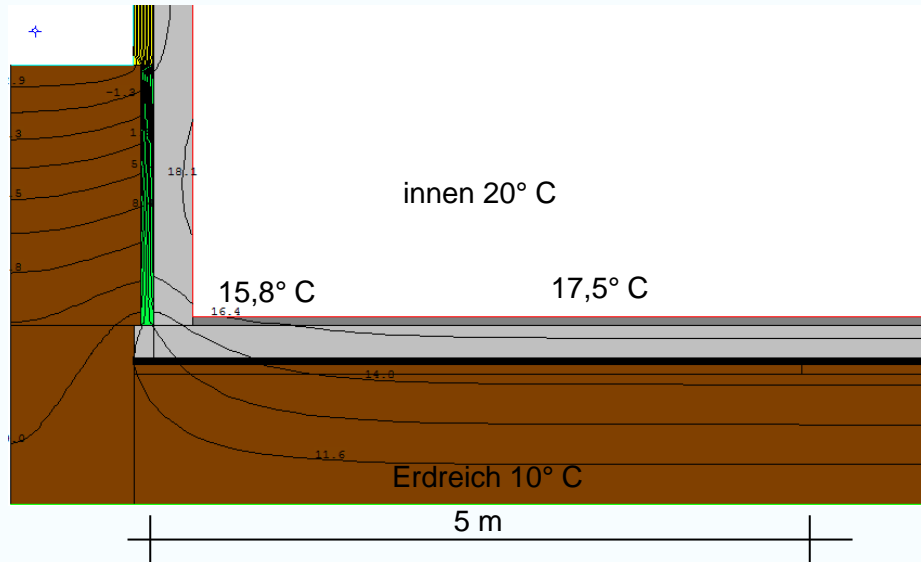


Aufbau von oben nach unten			Wärmedurchlasswiderstand R
-		Fußbodenbeschichtung	0,019 m ² K/W
6	cm	Zementestrich nach DIN 18560	0,043 m ² K/W
-		Dampfsperre	0,024 m ² K/W
30	cm	wu-Beton Bodenplatte 23 cm Kern- und Austrocknungs- 7 cm Kapillarbereich	0,10 m ² K/W 0,00 m ² K/W
-		Trennlage (PE-Folie)	--
Wärmedurchlasswiderstand gesamt			R = 0,19 m²K/W
Wärmedurchgangskoeffizient			U = 2,82 W/(m²K)

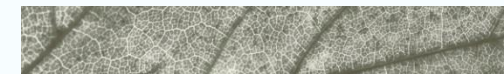
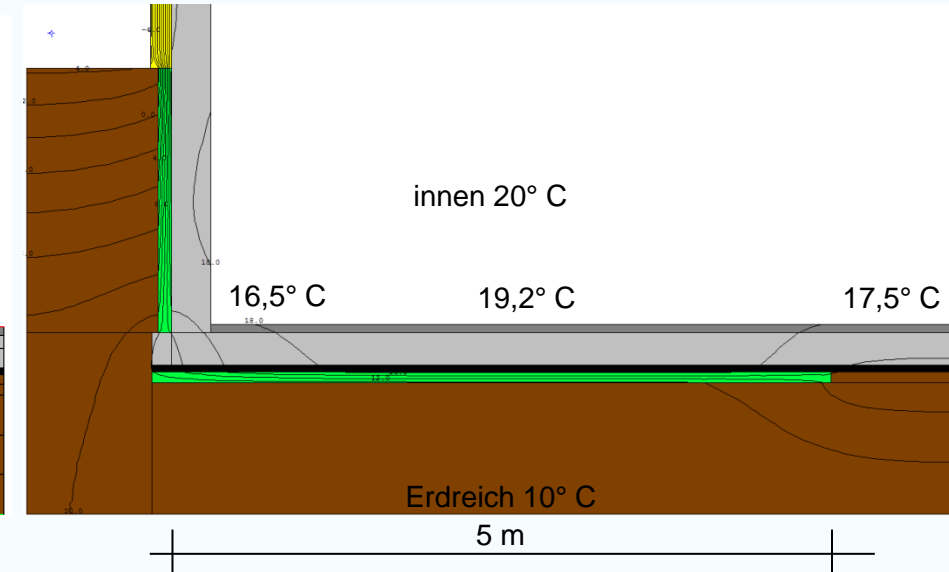
Aufbau von oben nach unten			Wärmedurchlasswiderstand R
-		Fußbodenbeschichtung	0,019 m ² K/W
6	cm	Zementestrich nach DIN 18560	0,043 m ² K/W
-		Dampfsperre	0,024 m ² K/W
30	cm	wu-Beton Bodenplatte 23 cm Kern- und Austrocknungs- 7 cm Kapillarbereich	0,10 m ² K/W 0,00 m ² K/W
-		Trennlage (PE-Folie)	--
10	cm	Wärmedämmung, extrudiertes Polystyrol, z.B. XPS DEO 035	2,86 m ² K/W
Wärmedurchlasswiderstand gesamt			R = 3,04 m²K/W
Wärmedurchgangskoeffizient			U = 0,31 W/(m²K)

Temperaturverlauf Kante Außenwand/Bodenplatte

außen -5° C

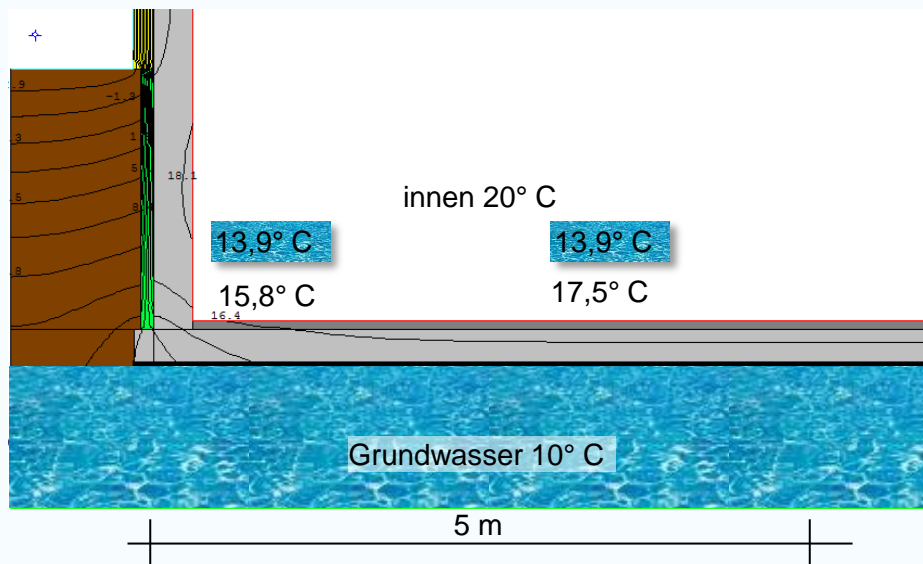


außen -5° C

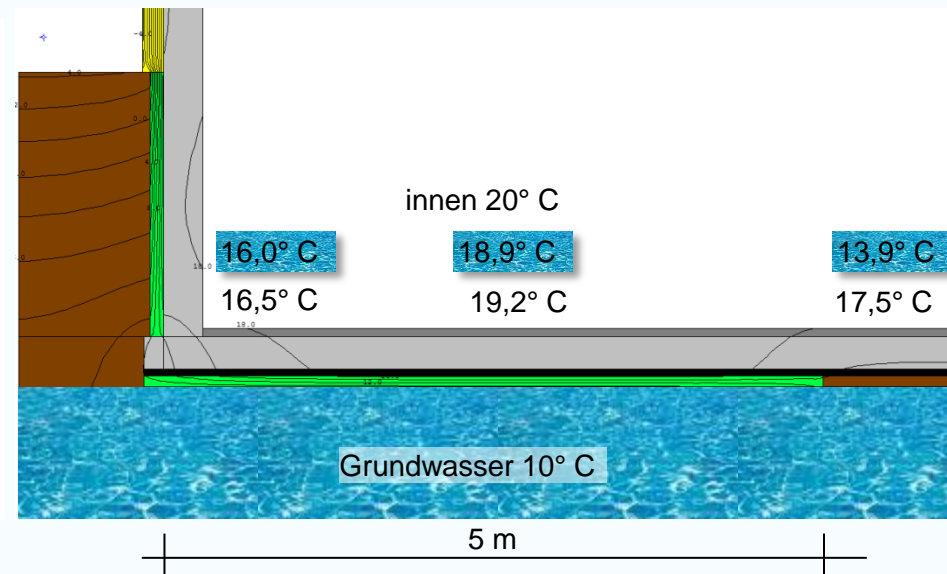


Temperaturverlauf Kante Außenwand/Bodenplatte

außen -5° C



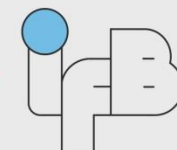
außen -5° C



Folgerungen:

- Im Kantenbereich ist bis zu einem Abstand von 5 m von der Außenkante des Gebäudes eine Wärmedämmung erforderlich.
- Bei großen Gebäuden kann im größeren Abstand auf eine Wärmedämmung verzichtet werden.
- Vorsicht: bei (fließendem) Grundwasser, immer mit Wärmedämmung!





Anlage 2, Anforderungen an Nichtwohngebäude, Referenzgebäudeverfahren






Bauteil	Wärmedurchgangs- - koeffizient	Dämmstoffdicke
Primärenergie/Referenzgebäude Bodenplatte ($U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) Verschärfung ab Jan 2016: -25 %	$U = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	WLG 040 14 cm WLG 035 12 cm
Höchstwert opake Außenbauteile ($0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) <ul style="list-style-type: none"> Bauteile gegen Erdreich werden mit Faktor 0,5 gewichtet, Flächen die mehr als 5 m vom äußeren Rand des Gebäudes entfernt sind bleiben unberücksichtigt! Zielwert für den Randbereich der Bodenplatte	$U = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	WLG 040 8 cm WLG 035 6 cm

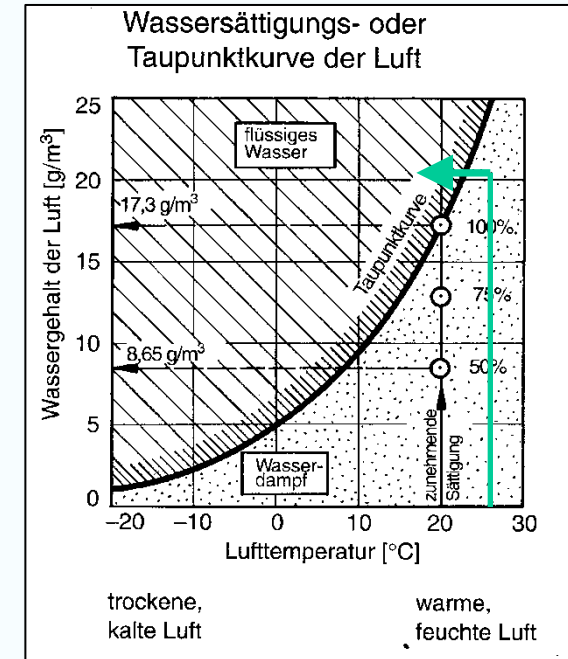
Folgerung:

- Zur Einhaltung des Höchstwertes des Wärmedurchgangskoeffizienten ist die Dämmung des Randbereiches ausreichend. Bei einem Abstand von mehr als 5 m vom äußeren Rand des Gebäudes kann auf die Dämmung verzichtet werden. Bei großen Gebäuden ist der Malus gegenüber dem Referenzgebäude (Primärenergie) durch fehlende Bodenplattendämmung gering.
- Bei kleinen Gebäuden sollte die Bodenplatte vollständig gedämmt werden.

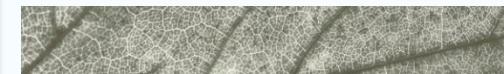


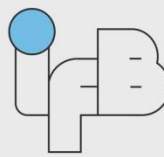


-  Schwülwarme Sommerluft.
 28°C , 80 %, Wassergehalt: 22 g/m^3
-  Klimabedingungen im Keller:
 20°C , 70 %, Wassergehalt: 12 g/m^3
-  Durch freie Lüftung oder Lüftungsanlage wird schwülwarme Außenluft in den Keller transportiert.
-  Die Luft kühlt im kälteren Kellerraum ab, dadurch erhöht sich die rel. Luftfeuchte.
-  Empfindliche Materialien, kühle Wandoberflächen neigen zu Schimmelpilzbildung

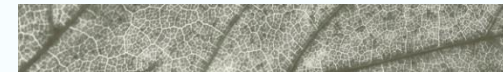


Wärmedämmung der Bauteile aus wu-Beton erhöht die Oberflächentemperatur und die Raumtemperatur!





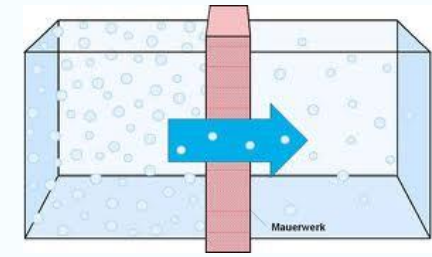
- Mindestwärmeschutz, Schimmelpilzkriterium
 - erdberührte Außenwände von hochwertig genutzten Räumen müssen außenseitig gedämmt werden (mind. bis 5 m Tiefe).
 - Bodenplatten von hochwertig genutzten Räumen müssen unterseitig gedämmt werden (Randstreifen 5 m) bzw. bis 5 m von der Gebäude-Außenkante. Bei (fließendem) Grundwasser ist eine vollflächige Dämmung zu empfehlen.
 - Wärmdämmung reduziert das Risiko von Sommerkondensat
- Energiesparender Wärmeschutz
 - Zur Einhaltung der Anforderung an den Höchstwert der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten wird nur der „gedämmte“ Randbereich angesetzt.
 - Wird der mittlere Bereich einer Bodenplatte nicht gedämmt, entsteht gegenüber dem Referenzgebäude ein geringer Malus.
- Allgemein
 - Die Verlegerichtlinien der Wärmedämmung (XPS oder CG) sind zu beachten.



Transportvorgänge, allgemein

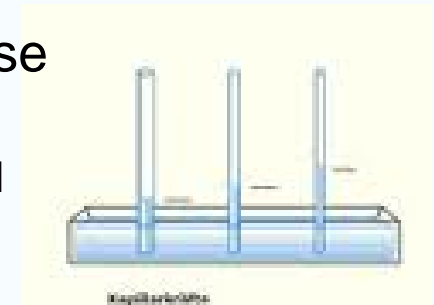
Diffusion der Wassermoleküle

- Trennt ein Bauteil zwei Räume verschiedener Temperatur und Luftfeuchte, so liegen in der Regel verschiedene Partialdampfdrücke vor. Angetrieben vom Druckunterschied entsteht Wasserdampfdiffusion. Diffusionswiderstandszahl μ , diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d



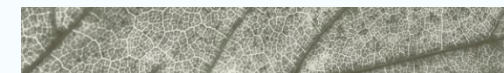
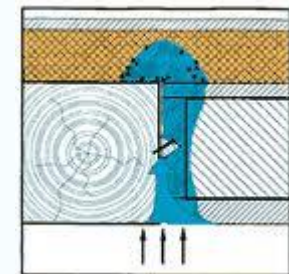
Wassertransport in ungesättigten Poren/Permeation/Osmose

- Baustoffschichten können bei Wasserkontakt je nach ihrer kapillaren Charakteristik Feuchtigkeit aufnehmen und mehr oder weniger schnell weiterleiten. Flüssigkeitsleitkoeffizient k , Wasseraufnahmekoeffizient



Feuchtetransport durch strömende Luft

- Durch Mitführen von Wassertropfen und Wasserdampf kann strömende Luft Feuchte-Massestromdichten erzeugen. Wasseraufnahmekoeffizient.



aus [4]

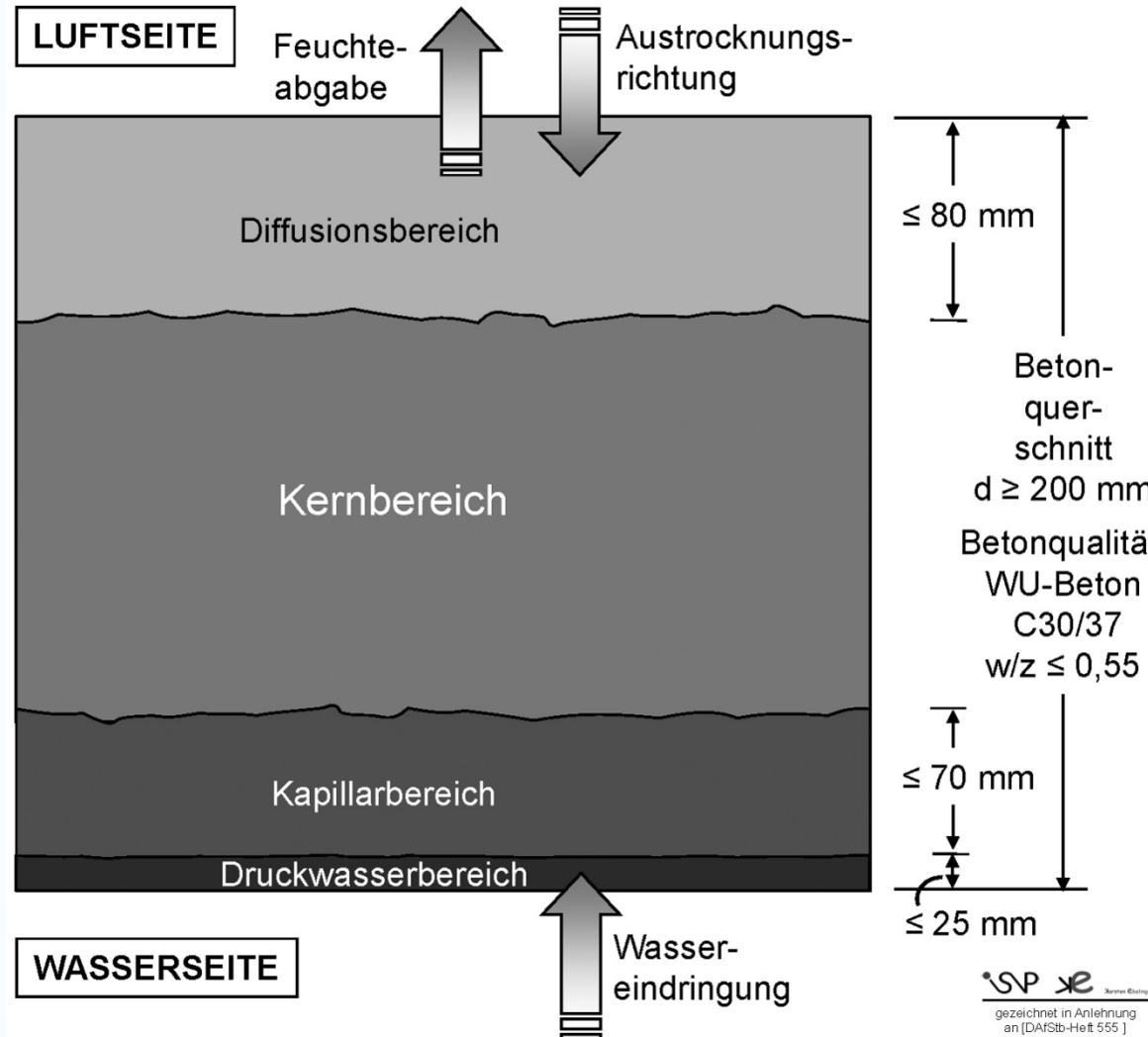
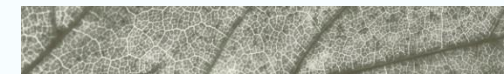


Bild:
Arbeitsmodell für die Feuchtigkeitsbedingungen in ungerissemem Betonquerschnitt

Hinweis:

Die grundlegenden Untersuchungen, die zu diesem Arbeitsmodell führten, wurden von Dr.-Ing. R. E. Beddoe und Prof. Dr.-Ing. P. Schießl vom Centrum Bau-stoffe und Materialprüfung der TU München durchgeführt. (siehe auch [5])



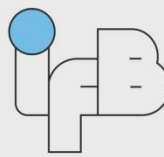


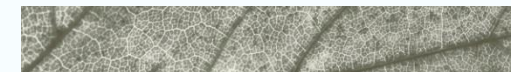
Tabelle 4: Abschätzung der ausdiffundierenden Feuchtemengen an der luftseitigen Randzone von WU-Bauteilen aus Ortbeton [nach 12], [21]

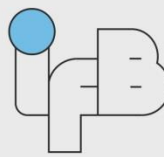
Austrocknungszeit der WU-Bauteile [Tage d]	täglich austrocknende Feuchtemenge [g / (m ² · d)] ¹⁾	Zeitraum	im Zeitraum austrocknende Feuchtemenge [g / m ²] ²⁾	Summe der austrocknenden Feuchtemenge [kg / m ²] ²⁾
8. bis 30. Tag	16 bis 18	3 Wochen	≈ 400	≈ 0,4
31. bis 91. Tag	8 bis 9	2 Monate	≈ 500	≈ 0,9
92. bis 183. Tag	6 bis 7	3 Monate	≈ 550	≈ 1,5
184. bis 365. Tag	4 bis 5	6 Monate	≈ 750	≈ 2,2
ab 365. Tag	≈ 2	-	-	-

1) Durchschnittswerte für üblich zusammengesetzte Betone mit w/z-Wert = 0,50 bis 0,60 bei Zementgehalten 300 kg/m³ bis 360 kg/m³

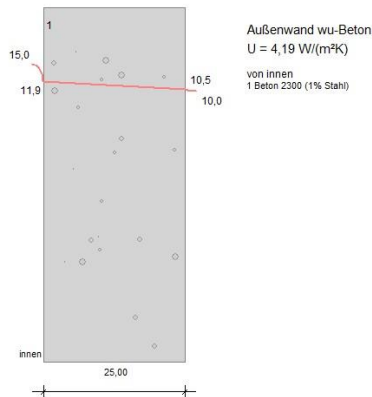
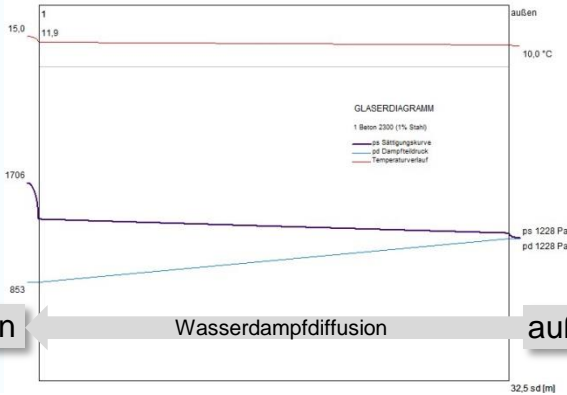
2) Feuchtemenge ≈ 2,2 kg/m² im ersten Austrocknungsjahr.

Durchschnittswerte bei 20 °C Lufttemperatur und 65 % rel. Luftfeuchte. Diese Anhaltswerte können bei anderen Randbedingungen (z.B. dicke Bauteile, Niederschlagswasser im Rohbau, usw.) deutlich abweichen.



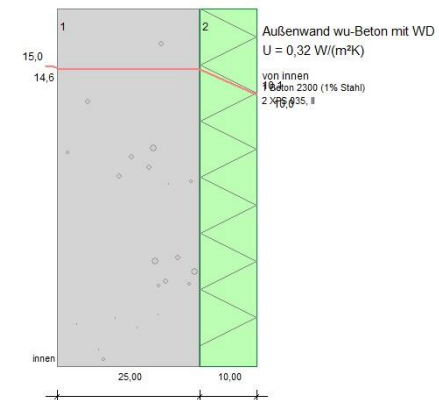
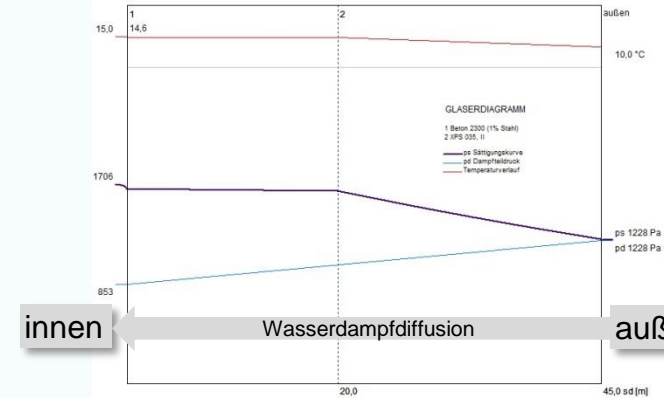


Außenwand, wu-Beton



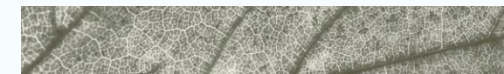
Diffusionsstrom - Glaser: $0,25 \text{ g/m}^2\text{d}$

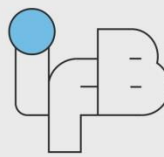
Außenwand, wu-Beton mit WD



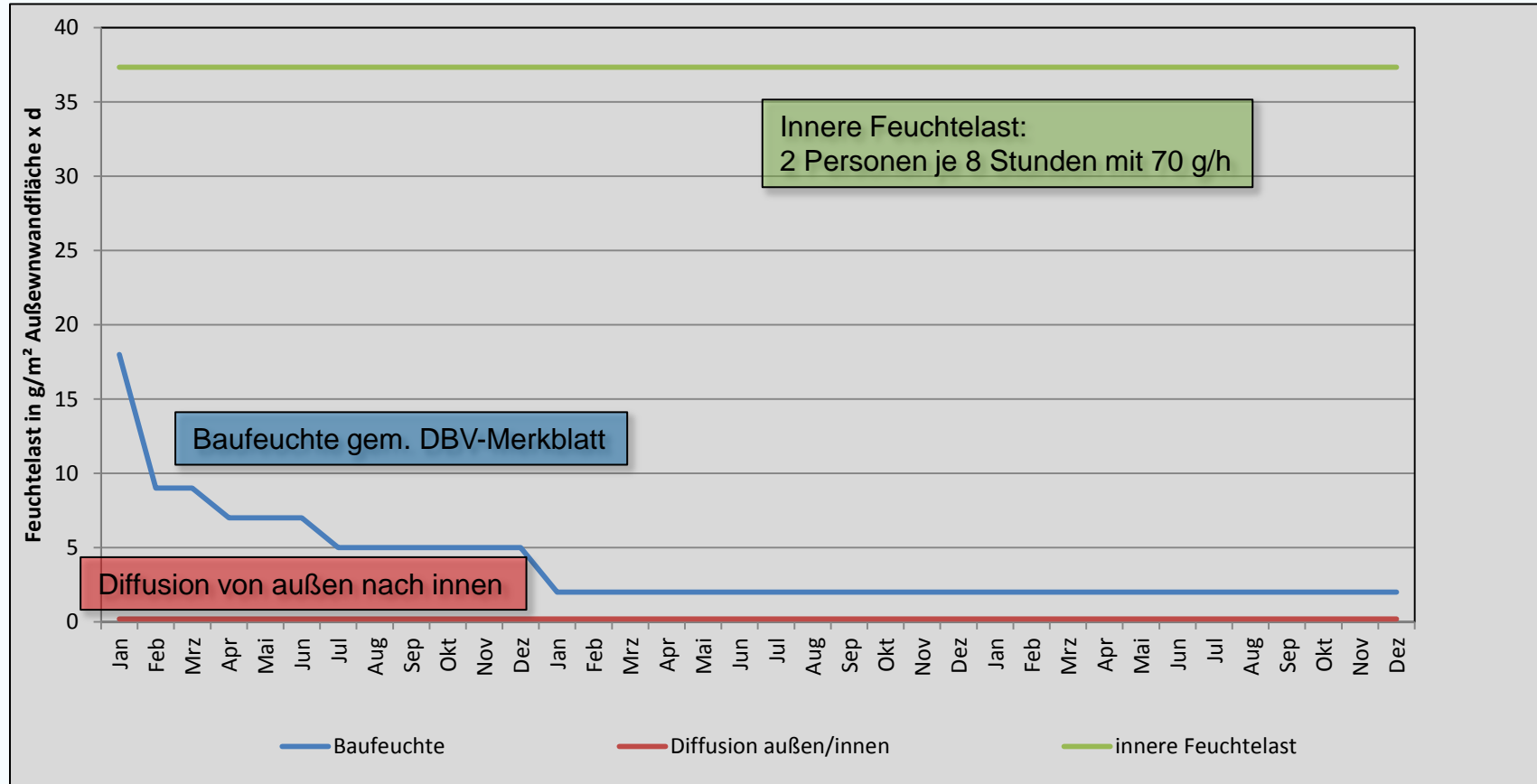
Diffusionsstrom - Glaser: $0,17 \text{ g/m}^2\text{d}$

Problem: Dampfdichte Beläge und Oberflächen innenseitig!



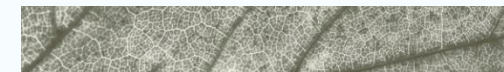


Gegenüberstellung der Feuchteströme

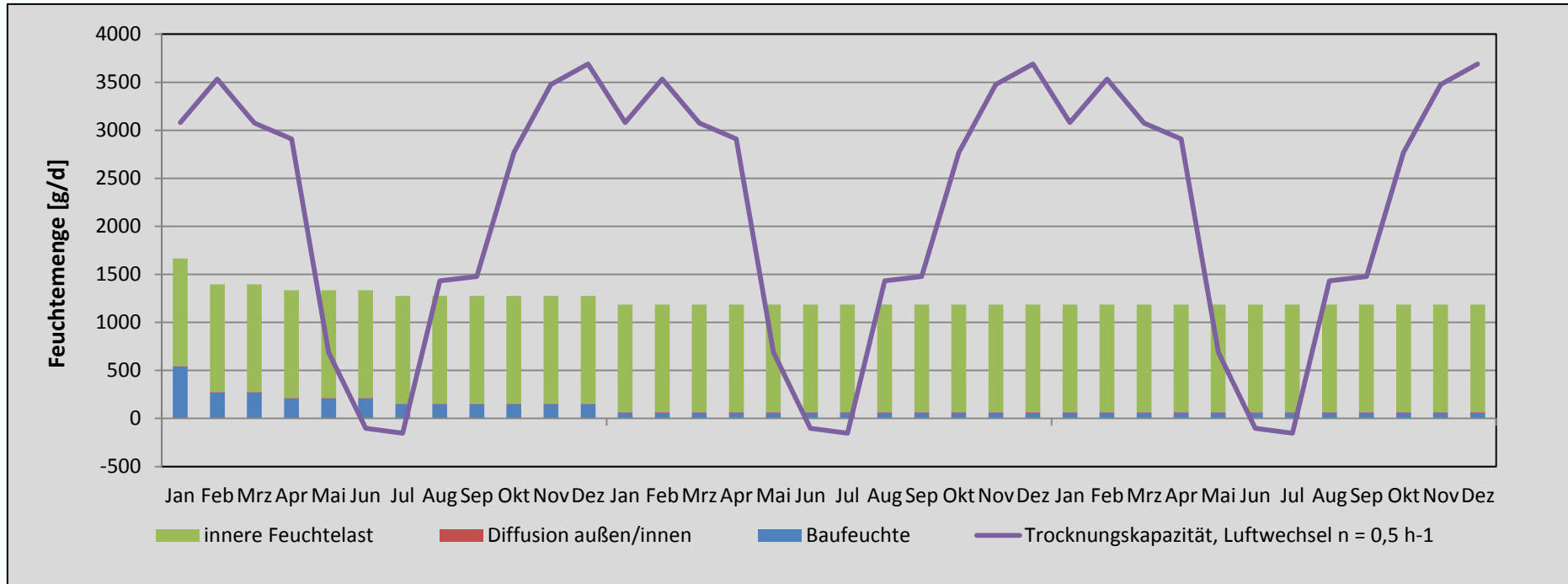


25 cm Außenwand (wu-Beton)

Grundfläche: 50 m², Raumvolumen: 150 m³, Außenwandfläche wu-Beton: 30 m²



Trocknungspotenzial durch Lüftung



Randbedingungen:

Grundfläche: 50 m², Raumvolumen: 150 m³, Außenwandfläche wu-Beton: 30 m²
25 cm Außenwand (wu-Beton), Raumtemperatur: 15 – 20° C

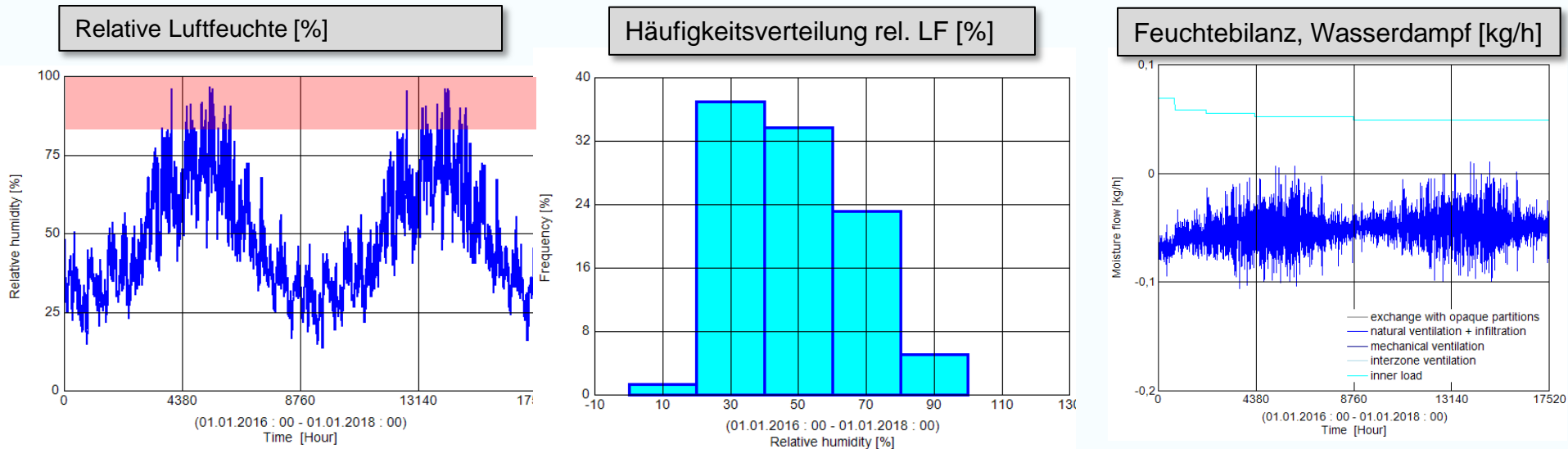
Folgerung: Bei hochwertig genutzten Räumen bestimmen die inneren Feuchtelasten die Lüftungstechnischen Maßnahmen. Durch eine Wärmdämmung der erdberührten Flächen kann die Situation verbessert werden.

Vorsicht: Sommer!



Ergebnisse Simulation

Programm WUFI (IBP Stuttgart), Betrachtungszeitraum 2 Jahre



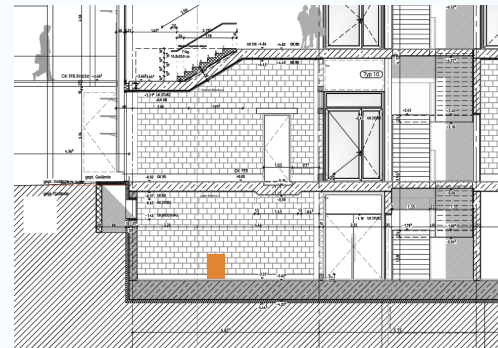
Folgerung: Die kritische Grenze der relativen Luftfeuchte von 80 % wird in mind. 6 % der Zeit überschritten.
Im Sommer kann zeitweise die Feuchtigkeit nicht abtransportiert werden, durch die Lüftung entsteht eine zusätzliche Feuchtelast.
Eine zielgenaue Lüftung ist daher für den Abtransport der Feuchtigkeit (Nutzung und Baufeuchte) unabdingbar.

Institut für Maschinenbau der FH Augsburg

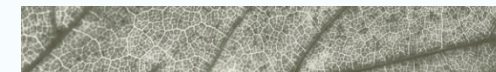
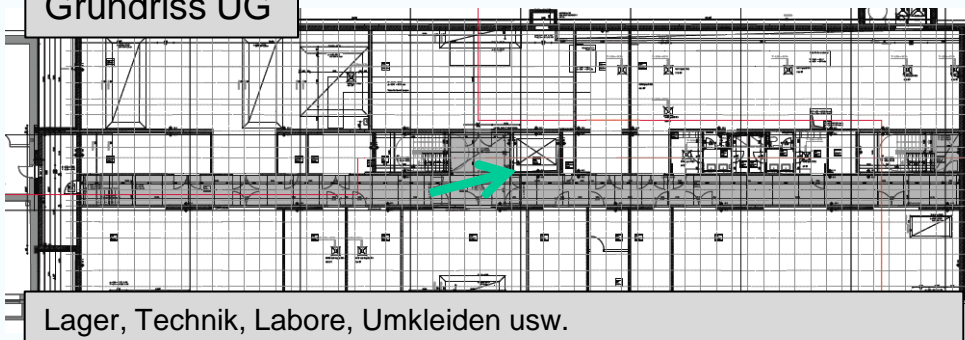


Bauherr: Staatliches Bauamt Augsburg
Architekt: Nickl + Partner AG, München
BRI: 2.302 m²
Baukosten: 17.730.000 €

Beschreibung: Das Gebäude wurde von 2008 – 2011 geplant und gebaut. Für den Fachbereich Maschinenbau sind die Labore für Fahrzeugtechnik, Hydraulik, Faserverbund, Schweißtechnik, Werkstoffprüfung, Härtelabor, Messtechnik, Akustik und Mechatronik untergebracht. Im UG + EG befinden sich werkstattähnliche Räume und Technik, in den OG sind Besprechungsräume, Seminar- und Büroräume eingebaut.



Grundriss UG

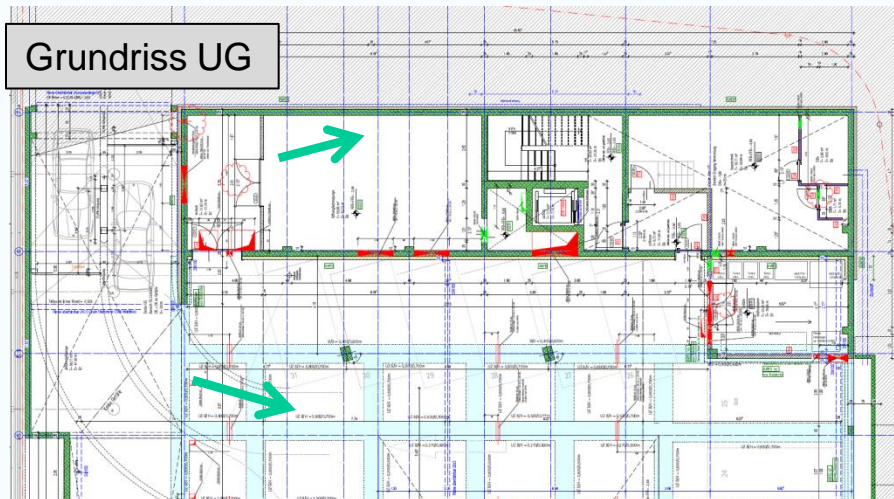


Raiba Ravensburg



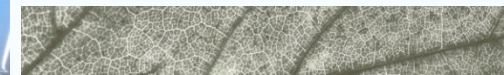
Bauherr: Raiba Ravensburg
Architekt: Fuchs + Maucher Architekten BDA, Waldkirch
GU: Fa. Reisch, Bad Saulgau
Baukosten: 10.000.000 €

Beschreibung: Das Gebäude wurde von 2013 – 2015 geplant und gebaut. Für die Raiba Ravensburg sind Büroräume, Konferenz- und Besprechungsräume vorgesehen. Im Untergeschoss befindet sich die Tiefgarage, Technikräume (Lüftung, Wärmepumpe und Elektro), Papierlager. Technik- und Lagerräume werden mechanisch be- und entlüftet, sind niedrig beheizt.



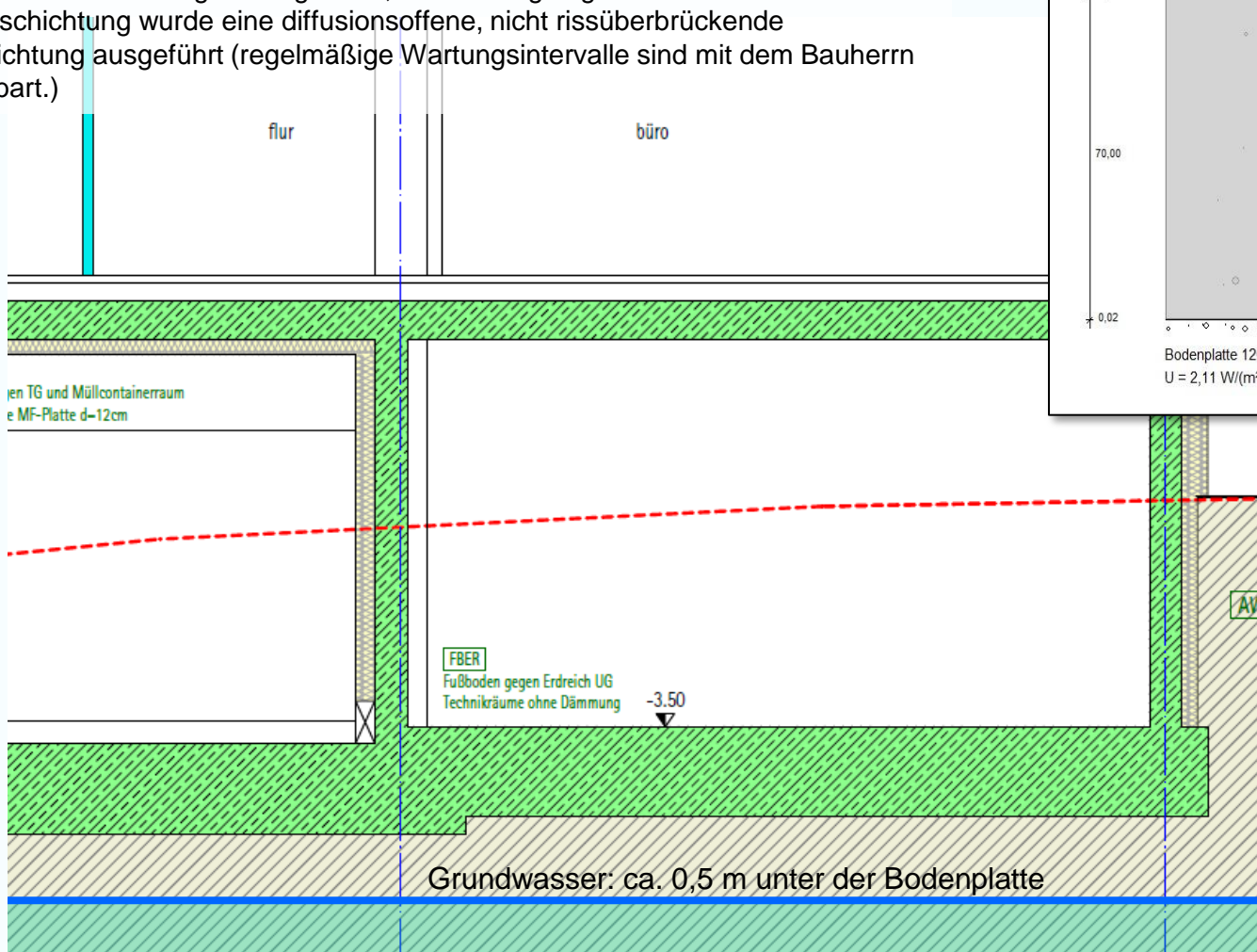
Grundriss UG

Lager, Technik, Umkleiden usw.

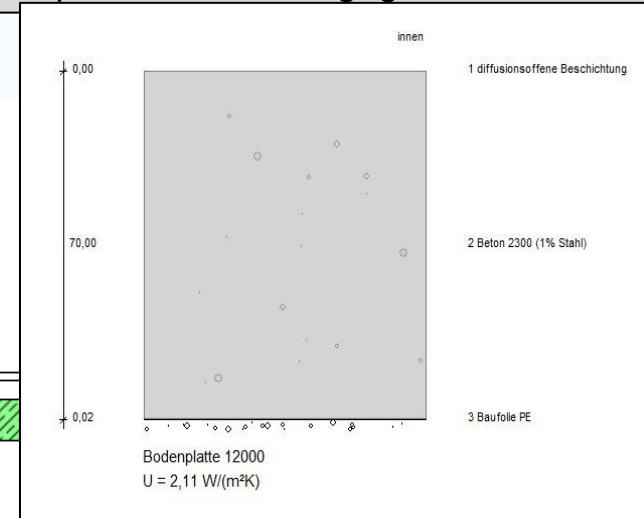


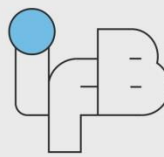
Raiba Ravensburg

Die Bodenplatte ist als 70 cm dicke wu-Betonplatte ausgeführt, die Bewehrung ist auf eine Rissbreitenbegrenzung von 0,20 mm ausgelegt.
Als Beschichtung wurde eine diffusionsoffene, nicht rissüberbrückende Beschichtung ausgeführt (regelmäßige Wartungsintervalle sind mit dem Bauherrn vereinbart.)

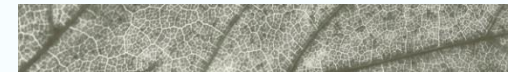


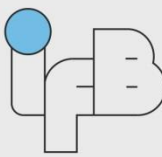
Bodenplatte/Fußboden gegen Erdreich





- Fußböden
Bei diffusionshemmenden oder feuchtigkeitsempfindlichen Bodenbelägen sind immer Dampfsperren ($s_d \geq 100 \text{ m}$) im Fußbodenaufbau vorzusehen. Diese sollten, wenn möglich, direkt auf der Bodenplatte angeordnet werden.
Bei diffusionsoffenen Beschichtungen kann auf die Dampfsperre verzichtet werden.
- Außenwände:
Bei Außenwänden ist nur im Fall von diffusionshemmenden Wandbekleidungen oder beim Anbringen feuchtigkeitsempfindlicher Gegenstände direkt an der Außenwand eine Dampfsperre vorzusehen. Diese ist auf der Innenseite erforderlich. Maßnahmen gegen längerfristig von außen eindiffundierende Feuchtigkeit, sind nicht notwendig.
- aber:
Zugänglichkeit zum optionalen Verpressen von Haarrissen (= sog. Trennrissen) ist dann nicht mehr gegeben.
(Feuchteschäden können ggfs. erst später auftreten, wenn z.B. die Wasserhaltung der Baugrube nach der Fertigstellung des Gebäudes abgestellt wird oder von zu einem späteren Zeitpunkt der Grundwasserspiegel ansteigt.)





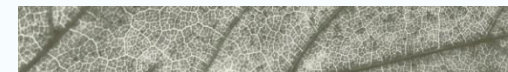
■ Feuchteschutz

- Die Maßnahmen zum Feuchteschutz (Lüftung der Räume) werden in der Regel durch die inneren Lasten und Anforderungen an das Klima (Lagergüter) bestimmt.
 - Feuchte-Transportvorgänge durch Bauteile aus wu-Beton werden in den ersten Monaten durch Baufeuchte beeinflusst,
 - im Gleichgewichtszustand (ca. ab dem 2. Jahr) werden nahezu stationäre Verhältnisse mit einem Diffusionsstrom von ca. $2 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ erreicht.
- Bei diffusionsdichten oder feuchteempfindlichen Belägen sind Dampfsperren erforderlich.
- Bei Außenwänden muss auf geeignete Möblierung (Abstand und Hinterlüftung) geachtet werden

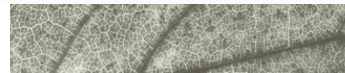
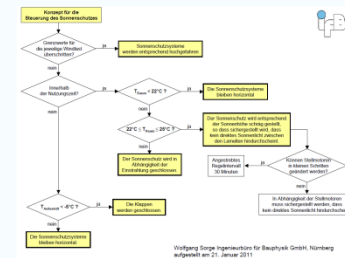
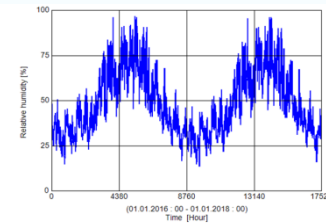
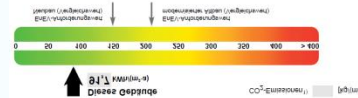
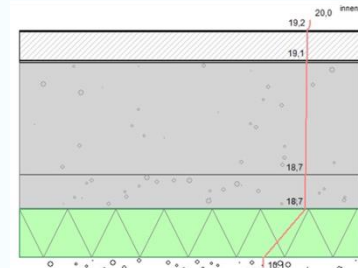
■ Wärmeschutz

Bei erdberührten Bauteilen aus wu-Beton muss bei hochwertig genutzten Räumen gedämmt werden:

- mindestens im Randbereich, bis 5 m von der Außenkante des Gebäudes
- oder komplett, wenn Grundwasser ansteht bzw. Sommerkondensat kritisch ist.



- **Wärmeschutz/Energieeinsparung**
 - Dimensionierung von Wärmedämmmaßnahmen (Dicke, Wärmeleitfähigkeit, Verlegerichtlinien)
 - Nachweis nach Energieeinsparverordnung 2014
 - Beurteilung von Wärmebrücken, Wärmebrückenberechnungen (FE-Methode)
- **Feuchteschutz**
 - Planen von dampfsperrenden und dampfbremsenden Maßnahmen
 - Diffusionsberechnungen, quasistationär nach Glaser
 - Instationäre Wärme- und Feuchtetransportvorgänge (WUFI)
- **Lüftungskonzept**
 - Festlegung von Klimabedingungen für hochwertig genutzte Räume
 - Berechnung erforderlicher Außen-Luftwechsel, Lüftungsstrategien (Sommer/Winter) für RLT-Anlagen oder freie Lüftung
 - Abstimmung von Regelgrößen (Temperatur/Feuchtegehalt usw.) mit GLT
- **Nutzung der Räume**
 - Ausarbeitung von Hinweisen für Nutzer (Möblierung, Lagerung von Gütern, Lüftung usw.)

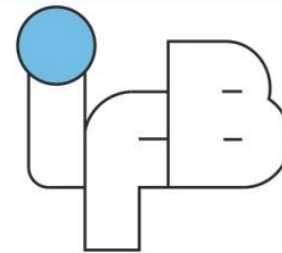


Bauphysikalisches Spannungsfeld zwischen hochwertig genutzten Räumen und Bauteilen aus wu-Beton?

Nein, bei gesamtheitlicher Planung der Architektur, Statik, Bauphysik und Haustechnik sind die Problemfelder beherrschbar!

WOLFGANG SORGE
INGENIEURBÜRO
FÜR BAUPHYSIK

Beratende Ingenieure VBI



beraten • planen • prüfen