

Architekt

Mag.arch. Oskar Pankratz

Vestenthal 24

4431 Haidershofen

fax+fon: 07434 – 423 53

pankratz@kt-net.at

Das Haus ist ein Gesamtsystem

Plädoyer für eine umfassendere Betrachtung der Feuchtigkeitsprobleme im Holzleichtbau

Feuchte im System Haus

Der Feuchtetransport in Bauteilen ist wesentlich schwieriger zu berechnen als der Wärmetransport. Grund dafür sind die Überlagerungen verschiedener Ursachen. Die üblicherweise gerechnete Diffusion bewirkt mengenmäßig den geringsten Teil des Wasserdampftransportes. Der Löwenanteil wird huckepack mit Luftströmungen transportiert[1]. Warme, feuchte Luft strömt im ungünstigen Fall an kalten Bauteilen entlang und gibt Feuchtigkeit in Form von Tauwasser ab.

Da also nachgewiesenermaßen die meiste Feuchte mittels Luft durch die Wände und Anschlüsse transportiert wird, sollte dies in einem Bilanzverfahren ähnlich einer Wärmebilanz berechnet und bewertet werden. Als Systemgrenze schlage ich die Außenhaut der beheizten Gebäudehülle vor.

Analyse der Einflussfaktoren:

Woher kommt die Feuchte?

Vom Bewohner

Atmen, Duschen und Kochen erzeugen Wasserdampf. Das Lüftungsverhalten spielt eine überragende Rolle. Es kann nicht mehr Feuchte innerhalb der Baukonstruktion auskondensieren als vorher im Haus erzeugt wurde! Jeder Liter Wasser im Blumentopf muss als Wasserdampf das Haus wieder verlassen.

Die Baufeuchte

Aus dem Massivbau ist ja bekannt dass ein Rohbau einen Winter ausfrieren sollte. Mischbauweise mit Beton- und Ziegelbauteilen kann einiges an Baufeuchte verursachen. Obwohl heutzutage Holz trocken eingebaut wird, kann es vorkommen dass der Montagetrupp vom Regen überrascht wird.

Wasser von Außen

Fassaden sind nicht gänzlich dicht – Schrauben, Fenster- und Türanschlüsse, kleinere oder größere Beschädigungen im Dach oder Fassade sorgen bei Schlagregen für Wassereintrag ins Bausystem.

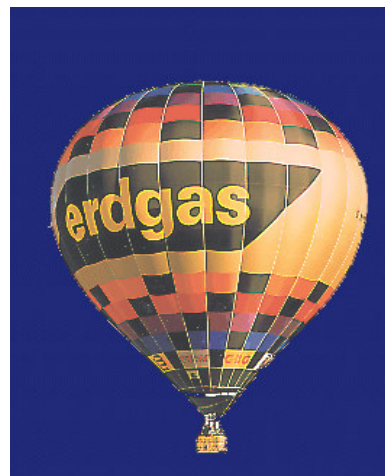
Wie kommt das Wasser aus dem Haus?

99 % der Feuchte mit Luftströmungen!

Ein wesentlicher Teile erfolgt mittels Fensterlüftung. Kühle, trockene und schwerere Außenluft dringt in der unteren Fensterhälfte in den Raum – warme, feuchte und leichtere Luft strömt im oberen Teil ins Freie. [2]

Der Kamineffekt

Das Haus ist im Winter ein Heißluftballon, es fliegt auf Grund seines enormen Gewichts nicht davon.

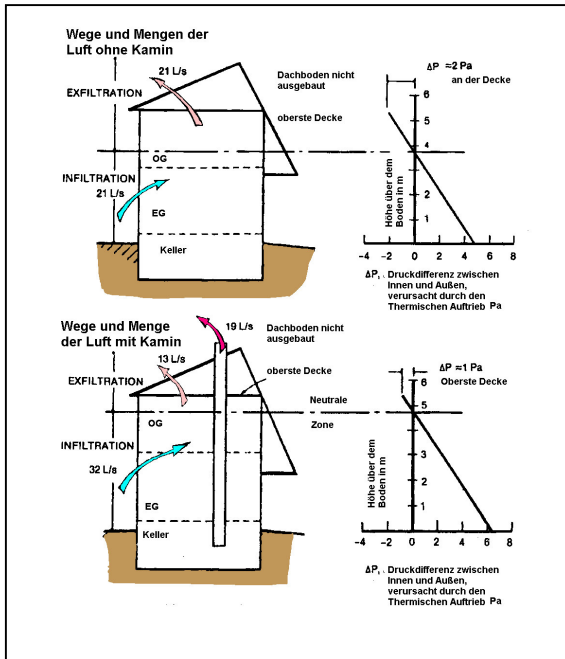


Warme, feuchtebeladene Luft drückt nach oben und erzeugt im oberen Drittel einen Überdruck. Da ein Haus nicht gänzlich dicht zu kriegen ist, entweicht in diesem Bereich Luft nach außen.

Unterhalb der neutralen Zone wird kalte, in der Regel trockenere Luft angesaugt.

Ein weiterer Teil der Luftfeuchte wird auch aufgrund des Kamineffektes durch Öffnungen (Kamin), Ritzen und Fugen ins Freie befördert.

Wenn die Leckagen ungleichmäßig verteilt sind, wie es üblicherweise der Fall ist, dann verschiebt sich die neutrale Zone in Richtung der größeren Leckagen. Siehe untenstehende Grafik, Auswirkungen eines Rauchfangs auf die Druckverteilung im Haus.

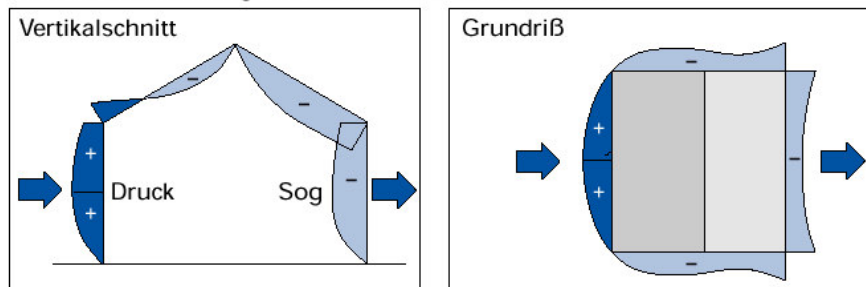


„Temperaturdifferenz = 28° C. Durch Temperaturdifferenz verursachte Druckverteilung mit den daraus folgenden In- und Exfiltrationsmengen und dem Einfluss einer Heizanlage mit Rauchfang. Wenn sich die Neutrale Zone wesentlich nach oben verschiebt, verringert dies die Gefährdung durch Wasserkondensation in den Leckagewegen.“ [3]

Der Wind

Der Wind verursacht Überdruck an der Luv-Seite und Unterdruck an der Lee-Seite. Wo der Wind seitlich vorbeistreicht entsteht zusätzlich Unterdruck. Diese Druckunterschiede überlagern sich mit dem Druckunterschied aus dem Kamineffekt.

Winddruckverteilung an einem Bauwerk, schematisch



[4]

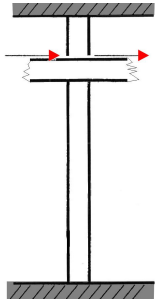
Diese Überlagerungen führen aufgrund des Wetters zu häufigen Druckwechseln auf Wand und Dach. Diese Druckunterschiede führen zu einer Durchströmung der Wand und/oder des Daches.

Die Wege der Luft

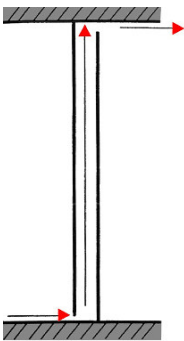
Die Luft muss durch Öffnungen, wie Fugen an Durchdringungen, von außen nach innen und von Innen nach außen gelangen.

Dies geschieht entweder durch:

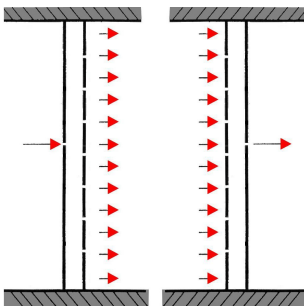
- eine direkte Fuge (Fensterfuge oder Balken durch die Wand) – kurzer Pfad



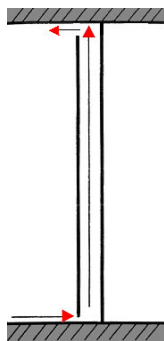
- Eintritt und Austritt weit entfernt – langer Pfad



- Eintritt punktuell oder diffus – Austritt diffus oder punktuell – diffuser Pfad



- Ein- und Austritt auf der selben Seite führt zu Hinterspülung der Wärmedämmung

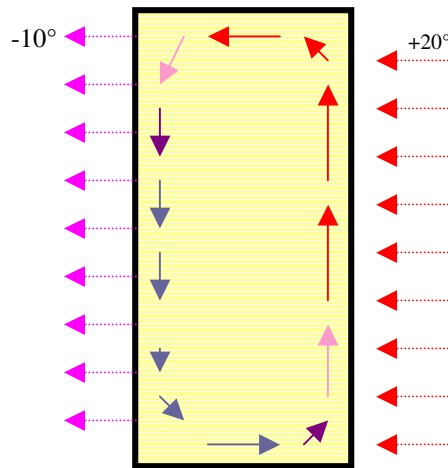


Interne Konvektion

Die Vorhersehbarkeit des Feuchtetransports in Bauteilen wird in der Praxis erschwert, kommt noch eine dritte Art dazu – nämlich die interne Konvektion. Die interne Konvektion in der Wand oder dem Dach ist von folgenden Faktoren abhängig: [5]

Einfluss des Wärmedämmstoffes

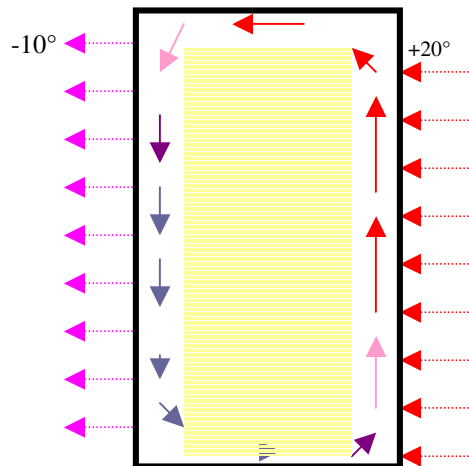
Luftdurchlässigkeit des Wärmedämmstoffes. Loser Mineralwollefilz bietet einen sehr geringen Widerstand – dicht eingeblasene Zellulose (70 kg/m³) einen vergleichsweise hohen. Ein geringer Luftwiderstand der Dämmung begünstigt die Interne Konvektion.



Wärmetransport durch Konvektion in einem mit luftdurchlässigem Material gedämmten Bauteil. Je luftdurchlässiger – desto mehr Wärmetransport durch Konvektion.

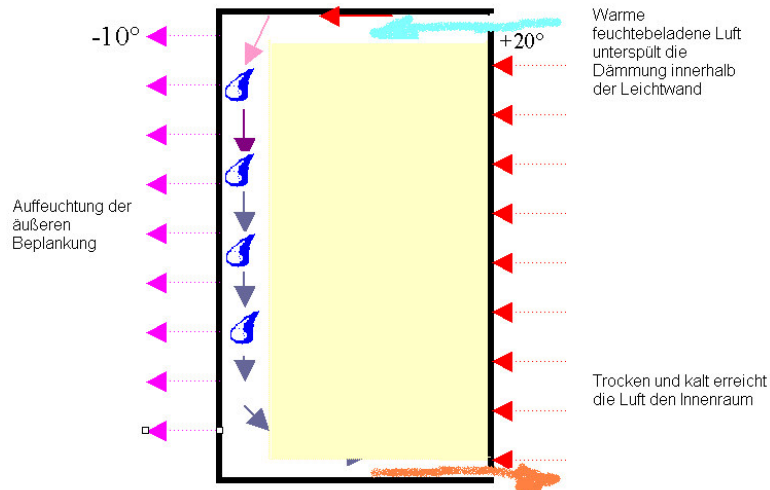
Einfluss handwerklicher Mängel

Fehlstellen in der Dämmung aufgrund handwerklicher Mängel in der Herstellung. Die so entstandenen Kanäle bieten auf- oder absteigender Luft kaum Widerstand und erhöhen die Zirkulation. [6]



Wärmetransport durch Konvektion in einem mit luftdurchlässigem Material gedämmten Bauteil. Je größer die Fehlstellen – desto mehr Wärmetransport durch Konvektion.

Undichtheiten der inneren Dichtungsebene führen zu Hinterspülung der Wärmedämmung – das Ausmaß ist vom Strömungswiderstand des Dämmmaterials und der Größe der Leckagen abhängig.



Wie gefährlich sind die unterschiedlichen Undichtheiten?

Die Lecks unterhalb der neutralen Zone führen zur Infiltration von kühler, trockener Außenluft und erhöhen den Heizenergiebedarf – sie sind jedoch nicht für Feuchteschäden anfällig.

Die Lecks oberhalb der neutralen Zone sind je nach Ausmaß und Länge sehr bis kaum gefährdet.

Kurze Wege (Fensterfuge) – geringe Gefährdung, da die warme Luft die berührten Oberflächen erwärmt und kaum Kondensat auftritt.

Anders bei den langen Wegen (z.B.: Eintritt Steckdose, Austritt oberer Wandanschluss). Hier wird die Luft wirklich im Inneren der Wand abgekühlt und Wasserdampf kondensiert aus. Bei sehr undichten Häusern tritt dann allerdings der Effekt auf, dass die relative Luftfeuchte aufgrund des großen, durch den Kamineffekt verursachten Luftwechsels unter 20 % sinkt und daher kein Kondensat mehr entsteht.

Hinterspülungen (Eintritt und Austritt auf der selben Seite) sind am gefährlichsten.

Feuchtetechnisch Bewertung von Dämmstoffen

Einfluss des Sorptionsverhaltens

Die DIN 68 800-2 erlaubt den Verzicht auf chemische Holzschutzmittel nur, wenn mineralische Faserdämmstoffe eingesetzt werden. Für andere Dämmstoffe muss eine eigene bauaufsichtliche Zulassung erreicht werden. Begründet wird dies mit dem hygrischen Eigenschaften, da insbesondere Naturfasern höhere Gleichgewichtsfeuchten als mineralische Faserstoffe haben.

Herlyn hat bei Untersuchungen keinen wesentlichen Einfluss des Sorptionsverhaltens der Dämmstoffe auf die Austrocknungsgeschwindigkeit von feuchten Prüfhölzern feststellen können[7]. Dies stimmt gut mit von mir durchgeführten WUFI-Simulationsrechnungen überein.

Einfluss der Luftdichtheitsschicht

„William C. Brown, Mitglied Ashrae, Gilles F. Poirier, P.Eng., Bruno Di Lenardo, P.Eng., Mark D. Lawton, P.Eng.“

Die kanadischen Autoren haben die Anforderungen eines Dichtheitssystems untersucht und sind zu folgenden Kriterien gekommen: Das System muss -

1. *eine annehmbare Luftleckagerate haben.*
2. *die ganze Gebäudehülle einschließen.*
3. *Windkräften über die zu erwartende Lebensdauer standhalten.*
4. *dauerhaft sein.*
5. *baubar und reproduzierbar auf der Baustelle sein.“ (Übersetzung Pankratz)*

Die wichtigste Aufgabe des Dichtesystems ist es das entweichen von Luft in die Wand zu verhindern.

„Mit folgenden Zielen:

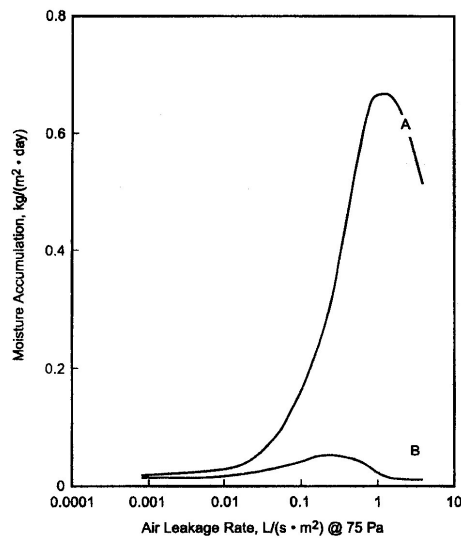
1. *Kondensation soll kaum auftreten und das akkumulierte Wasser soll gering sein.*
2. *Die Austrocknungsgeschwindigkeit muss groß genug sein, um das Wachsen von Schimmel und Moder zu verhindern.“ [8]*

Weiter sinngemäß:

Um nun den Zusammenhang von Luftleckagen und Feuchtigkeitsakkumulierung berechenbar zu machen, erfordert dies eine komplexe mathematische Analyse. Ein mathematisches Modell zur Vorhersage von Feuchtigkeitsakkumulation wurde erstellt. Folgende Einflussfaktoren wurden eingearbeitet:

- Temperatur
- Winddruck
- Dampfdruck
- Thermische Isolierung
- Leckagerate des Luftdichtheitssystems
- Wasserdampfwiderstand des Luftdichtheitssystems
- Zusätzliche Isolierung außerhalb des Luftdichtheitssystems

- Wasserdampf Widerstand der Dampfbremse



[9] Zit.:

Die Kurve A zeigt, wie die Feuchtigkeitsakkumulierung variiert mit der Leckagerate für eine bestimmte Annahme von Temperaturen, Feuchtigkeit, Isolierung und Wasserdampfbremse. Beachte, wie die Feuchtigkeitsakkumulierung sich vergrößert, wenn die Leckagerate größer wird. Ab 1 ltr./s.m² kommt es zu einem Rückgang der Feuchtezunahme. Es tritt nun der Effekt ein, dass die warme Luft die durch die Leckage strömt, die Oberfläche der Luftdichtheitsschicht über die Taupunkt-Temperatur erhöht. Sehr luftdichte und sehr undichte Wände werden kein Problem haben. Gefährlich sind die im mittleren Bereich.

Die Kurve B in der Figur zeigt den Effekt von zusätzlicher diffusionsoffener Isolierung mit dem Wärmewiderstand 0,78 K·m²/W auf die Luftdichtheitsschicht. Daraus schließen wir – die meiste Akkumulierung tritt auf, wenn

1. das Luftdichtheitssystem außerhalb der Isolierung ist.
2. die außenseitige an der Isolierung liegenden Schicht geringe Wasserdampfdurchlässigkeit hat.
3. die relative Luftfeuchtigkeit innen hoch ist.

Die Simulationen wurden für Halifax und Edmonton in Canada gerechnet. Genauer und für europäische Verhältnisse wird diese Aufgabenstellung von Ojanen und Kumaran abgehandelt. [10]

Zusammenfassung

Welche Schlüsse können aus den oben angeführten Überlegungen für die Praxis gezogen werden?

Der Nutzer beeinflusst den Feuchtehaushalt so gravierend wie den Energieverbrauch – gleiche Häuser verbrauchen je nach Nutzer 4 x mehr Energie. Völlig baugleiche Häuser führen einmal zu einem Bauschaden, ein andermal nicht.

1. Die innere Luftdichtigkeitsschicht. Feuchte die von vornherein nicht in die Konstruktion gelangt muss nicht weggelüftet werden. Liegt diese Luftdichtigkeitsschicht geschützt innerhalb einer Installationsebene kann dies als sehr baustellentauglich bezeichnet werden. Dies ist ganz besonders bei Holzleichtbauwänden zu beachten, wenn sie mit einem Vollwärmeschutz und Putz ohne Hinterlüftungsebene versehen werden. Da der Außenputz ein perfektes Luftdichtungssystem darstellt, muss die innere Dichtung mindestens genau so dicht oder dichter als der Außenputz sein. Der diffusionstechnisch richtige Aufbau genügt nicht, wenn wir bedenken dass 99 % der Feuchte über Leckagen und Öffnungen abgeführt wird. Diese Anforderung kann ganz einfach mit einer Dichtigkeitsprüfung (Blower-Door-Test) quantifiziert werden.

2. Das zweitwichtigste Kriterium ist die Ausbildung und Dichtheit der mit Dämmstoff gefüllten Kammern. Hinterspülungen und lange Luftpfade innerhalb der Leichtbauwand sind wirklich gefährlich.

3. ist entscheidend wie leicht die Feuchte an der Bilanzgrenze Gebäudehülle nach außen gelangt. Faserdämmstoffe (mineralische und organische) mit geringem spezifischen Strömungswiderstand zeigen ein hervorragendes Austrocknungsverhalten wenn die äußere Begrenzungsschicht sehr diffusionsoffen (SD-Wert 0,02 bis 0,2 m) konstruiert wird. Nachteilig an diesen üblichen Faserdämmstoffen ist, dass die Dichtheit der Konstruktion nicht wesentlich verbessert wird. Eingeblassene Zellulosedämmung hat den Vorteil die Dichte einer Leichtwand wesentlich zu verbessern. [11]

4. ist so diffusionsoffen wie möglich zu konstruieren. Bei Leichtbauwänden die Schlagregen ausgesetzt sind kann es zu Wassereintrag kommen. Je schneller dieses Wasser ausdampfen kann um so besser. Dies ist auch bei Mischbauweise mit entsprechender Baufeuchte zu Beginn dringend zu empfehlen.

Zum Schluss noch eine Anmerkung zu der Angst vor zu dichten Häusern. Ein Holzleichtbau kann gar nicht zu dicht sein. Selbst wenn die Norm um 2/3 übertroffen wird, dies entspricht einem 1-fachen Luftwechsel bei 50 Pascal Druckdifferenz, kann man nicht ersticken. Der durchschnittliche Bewohner wird bei Mief lüften so wie bisher.

Das noch dichtere Passivhaus hat keine Probleme mit der Feuchtigkeit da die Lüftung mit Wärmerückgewinnung für einen sicheren Abtransport der Luftfeuchte sorgt.

Literatur:

- [1] ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997, SI-Edition, Diffusion through walls, 25.17)
- [2] ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997, SI-Edition, Windows and doors, 25.17)
- [3] Überarbeitete Grafik, zit. aus ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997, SI-Edition, Combining Driving Forces, 25.11, Fig.8)
- [4] Bearbeitete Graphik aus der CD-ROM: Beilage zum Buch „Energiegerechtes Bauen und Modernisieren“ Copyright 1966 Birkhäuser – Verlag für Architektur, Basel.
- [5] **Pankratz**, Oskar: Das vorgefertigte Haus im Passivhausstandard, Diplomarbeit, Linz 2002, S. 83
- [6] vgl. **Geving**, S. und **Karagiozis** A., 1996. Influence of air gap defects on the hygrothermal performance of a wood frame wall. In **Geving** Stig “Moisture design of building constructions – Hygrothermal analysis using simulation models – Part II, Collection of papers and reports”. NTNU Trondheim, 1997.
- [7] **Herlyn**, Johann W. Rubrik Holzbautechnik Dämmstoffe - Feuchteigenschaften, in: bauen mit holz , Heft 1, 2000, Seite 32)
- [8] Zit: **Brown, Poirier, Lenardo, Lawton**: An Evaluation Guide for Performance Assessment of Air Barrier Systems, in: Thermal performance of the exterior envelopes of buildings VII", Dec.1998, Clearwater Beach, Florida, S.775)(Übersetzung Pankratz)
- [9] Grafik zit. aus: **Brown, Poirier, Lenardo, Lawton**: An Evaluation Guide for Performance Assessment of Air Barrier Systems, in: Thermal performance of the exterior envelopes of buildings VII", Dec.1998, Clearwater Beach, Florida, S.776)
- [10] **Ojanen**, T., and **Kumaran** K. 1996. Effect of exfiltration on the hygrothermal behaviour of a residential wall assembly. Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, Vol. 19, January.)
- [11] Vgl. **Judkoff** in Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, 2001, Seite 594). Campbell-Howe, R: Proceedings of Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, including Proceedings of ASES Annual Conference, Proceedings of 26th National Passiv Solar Conference, Washington, DC, 2001

Der Autor:

Architekt

Mag.arch. Oskar Pankratz, Jahrgang 1956

Zweiter Bildungsweg,

Studium der Architektur in Wien und Linz

Diplomarbeit bei Holzbauspezialist Univ. Prof. Roland Gnaiger

Während des Studiums Bau von 2 Passivhäusern

Seit 3 Jahren freier Mitarbeiter der Entwicklungsabteilung der WIEHAG-Baugruppe, zuständig für thermische dynamische Simulationen mit Energy-10, 2-dimensionale Wärmebrückenberechnungen und instationäre Wärme- und Feuchtetransportberechnungen mit WUFI

Mitglied der IG-Passivhaus Oberösterreich

Kontaktadresse:

Vestenthal 24

4431 Haidershofen

fax+fon: 07434 – 423 53

pankratz@kt-net.at