

Einfluß der natürlichen Strahlung in  
Wohnhäusern  
Teil 1 und 2

**T 2330**

T 2330

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

Abschlußbericht zur Forschungsarbeit

"Einfluß der natürlichen Strahlung in Wohnhäusern"

(Kurztitel: "Strahlenbelastete Wohnhäuser")

Teil 1

Autoren:

Dr.-Ing. G. Neroth	LGA-MPA, Abt. Bauwesen
Dipl.-Ing. (FH) H. Kuhn	LGA-MPA, Abt. Bauwesen
Dr. rer. nat. J. Gründer	LGA, Grundbauinstitut
Dipl.-Geol. C. Schillinger	LGA, Grundbauinstitut

Nürnberg, im Dezember 1990

Auftraggeber:

Institut für Bautechnik  
Reichpietschufer 72-76  
1000 Berlin 30

Az.: IV-5-505/87

Inhalt	Seite
1 Einführung	1
1.1 Zur Strahlenexposition der Bevölkerung	1
1.2 Zielsetzung der Forschungsarbeit	2
1.3 Zur Systematik dieses Berichts	2
2 Literaturübersicht	3
2.1 Ergebnisse der Erhebungsmessungen	3
2.2 Radioaktivität von Baustoffen	8
2.3 Sanierungsverfahren	12
2.3.1 Sanierungsprinzip A	13
2.3.2 Sanierungsprinzip B	16
2.3.3 Sanierungsprinzip C	17
2.3.4 Vergleich der Verfahren	20
3 Standort A	21
3.1 Allgemeine Angaben	21
3.2 Geologische Verhältnisse	21
3.2.1 Geologisches Gesamtbild	21
3.2.2 Geologische Situation von Großschloppen	25
3.2.3 Geogene Radonbelastungen	26
3.3 Planung und Durchführung der Untersuchungen	27
3.3.1 Vorbereitende Informationsveranstaltung	27
3.3.2 Radonmessungen	27
3.3.3 Bauaufnahmen	27
3.4 Ergebnisse der Untersuchungen	28
3.4.1 Haus Nr. 02	29
3.4.2 Haus Nr. 03	32
3.4.3 Haus Nr. 04	34
3.4.4 Haus Nr. 06	38
3.4.5 Haus Nr. 08	40
3.4.6 Haus Nr. 10	42
3.4.7 Haus Nr. 11/12	44
3.4.8 Haus Nr. 13	46
3.4.9 Haus Nr. 15	49
3.4.10 Haus Nr. 16	51
3.4.11 Haus Nr. 17	54
3.4.12 Haus Nr. 22	57
3.4.13 Haus Nr. 25	59

3.5	Geologische Untersuchungen	62
3.5.1	Bohrungen	62
3.5.2	Laborversuche	63
3.5.3	Folgerungen	64
3.5.3.1	Strahlungsquellen	64
3.5.3.2	Sanierungsmöglichkeiten	65
3.6	Zusammenfassung	66
3.6.1	Altersstruktur der untersuchten Gebäude	66
3.6.2	Altersstufe I	66
3.6.3	Altersstufe II	68
3.6.4	Altersstufe III	69
4	Schlußfolgerungen	71
5	Sanierungsvorschläge	72
5.1	Standort A, Haus Nr. 04	72
5.2	Standort A, Haus Nr. 06	72
5.3	Standort A, Haus Nr. 17	73
6	Generelle Empfehlungen für Sanierungsmaßnahmen	73
7	Literatur	75

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BGA	Bundesgesundheitsamt
BMI	Bundesminister des Innern
BMU	Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
EPA	Environmental Protection Agency (US-Umweltschutzbehörde)
IfBt	Institut für Bautechnik
IRCP	International Radiation Protection Council (Internationale Strahlenschutzkommission)
ISH	Institut für Strahlenhygiene
LGA	Landesgewerbeanstalt
MPA	Materialprüfungsamt
SSK	Strahlenschutzkommission

# 1 Einführung

## 1.1 Zur Strahlenexposition der Bevölkerung

Der Mensch und seine Umwelt sind seit jeher einer natürlichen und in zunehmendem Maße auch zivilisatorisch bedingten Strahlenbelastung ausgesetzt. Die Höhe der Strahlenexposition sowie ihre Schwankungsbreite sind für die Beurteilung der Strahlenbelastung der Bevölkerung von besonderem Interesse.

Aus diesem Grunde beauftragte der Bundesminister des Innern mehrere Institutionen mit der Durchführung eines groß angelegten Forschungsvorhabens, in dem die Dosisleistungen im Freien sowie in Wohnungen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurden. Über die Ergebnisse der Untersuchungen wird in /1/ zusammenfassend berichtet.

Mit diesen Erhebungsmessungen wurde primär das Ziel verfolgt, die derzeitige Strahlenexposition der Bevölkerung zu ermitteln, und weniger, ursächliche Zusammenhänge zu erforschen.

Ergänzend zu den in /1/ beschriebenen Untersuchungen wurde in einer weiteren Meßreihe die Frage aufgegriffen, welchen Beitrag das aus dem Erdreich und aus Baustoffen entweichende radioaktive Edelgas Radon zur Strahlenexposition liefert /2/.

Aus epidemiologischen Studien an Arbeitern aus Uranbergwerken ist bekannt, daß durch Radon und seine Folgeprodukte beim Menschen Lungenkrebs ausgelöst werden kann. Da Radon praktisch überall in der Umwelt, wenn auch in stark unterschiedlichem Maße, vorkommt, stellt sich die Frage, ab welchen Konzentrationen eine Gefährdung für den Menschen zu erwarten ist. Dabei ist insbesondere die Konzentration im Inneren von Gebäuden maßgebend, weil sich der Bundesbürger zu rund 80 % in Gebäuden aufhält und hier die Radongehalte höher sind als im Freien.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) empfiehlt in ihrer Bekanntmachung vom 11. Dezember 1985 /3/ u.a., daß

- "die z.Z. mit Radonmessungen befaßten Stellen, in Verbindung mit Fachleuten aus dem Wohnungsbau, Kriterien zur Beurteilung von Maßnahmen zur Reduzierung der Radonbelastung entwickeln und

- bauliche Empfehlungen zur Reduktion der Radonkonzentration der Luft in Wohnräumen, speziell auch in Verbindung mit der Wohnraumbelüftung, erstellt werden."

Als obere Grenze des Normalbereichs der Radonkonzentration in der Raumluft sieht die SSK derzeit einen Wert von  $250 \text{ Bq/m}^3$  an /4/. Liegt der langzeitige Mittelwert der Radonkonzentration oberhalb dieses Wertes, sollten Sanierungsmaßnahmen empfohlen werden.

## 1.2 Zielsetzung der Forschungsarbeit

In der Bundesrepublik liegen bislang nur wenige Erfahrungen vor, mit welchem Maßnahmen eine wirksame Reduzierung der Radonbelastung in Innenräumen möglich ist. In anderen Ländern, z.B. USA und Schweden, wurden hierzu bereits umfangreiche Arbeiten durchgeführt. Allerdings sind die dort gewonnenen Erfahrungen nicht ohne weiteres auf bundesdeutsche Verhältnisse übertragbar, u.a. wegen andersartiger klimatischer und geologischer Gegebenheiten, Radonbelastungen und Hausbauweisen.

Vor diesem Hintergrund hat das Institut für Bautechnik (IfBt) in Berlin im Jahre 1987 die LGA Nürnberg und das Institut für Strahlenhygiene (ISH) des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg, mit der Durchführung des Forschungsvorhabens "Einfluß der natürlichen Strahlung in Wohnhäusern" beauftragt.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es zu erforschen, durch welche baulichen Maßnahmen die Radonkonzentrationen in Gebäuden verringert werden können. Hierzu sollten an zwei Standorten in der Bundesrepublik Deutschland die Radongehalte in Wohnhäusern unterschiedlicher Bauart und Altersstruktur gemessen und gleichzeitig die Baukonstruktionen der Gebäude aufgenommen werden. Ergänzend werden die geologischen Gegebenheiten der ausgewählten Standorte anhand von Literaturergebnissen beschrieben und durch eigene gezielte Aufschlüsse ergänzt. Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen sollen für die am stärksten belasteten Häuser Sanierungsvorschläge erarbeitet werden.

Die Untersuchungen am ersten Standort sowie die Auswertung der gewonnenen Daten war sehr zeitintensiv; so wurde Standort A erst im März 1990 durch Vorlage eines Zwischenberichtes abgeschlossen. Die Arbeiten am zweiten Standort konnten innerhalb des verfügbaren Zeitrahmens leider nicht mehr in Angriff genommen werden.

Es war von Anfang an vorgesehen, die vorgeschlagenen Sanierungen an mehreren Häusern praktisch durchzuführen, um den Erfolg der Maßnahmen nachzuweisen. Hierfür wurden im Jahre 1989 von seiten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Mittel zur Verfügung gestellt. Dieses Vorhaben ist weitgehend abgeschlossen; der Abschlußbericht wird voraussichtlich im Frühjahr 1991 fertiggestellt.

## 1.3 Zur Systematik dieses Berichts

Die Forschungsarbeit "Einfluß der natürlichen Strahlung in Wohnhäusern" wurde bzw. wird vom ISH Neuherberg und der LGA Nürnberg gemeinsam bearbeitet. Der vorliegende Bericht umfaßt im wesentlichen die von der LGA durchgeführten Arbeiten; hieran waren das Grundbauinstitut und die Abteilung Bauwesen des Bereichs Materialprüfung - Materialprüfungsamt



beteiligt.

Die Ergebnisse der vom ISH vorgenommenen Radonmessungen sind in diesem Bericht enthalten. Auf weitere Ausführungen bzgl. Meßtechnik, Auswertung usw. wird an dieser Stelle verzichtet.

Der vorliegende Bericht besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil enthält neben dem Text sämtliche Tabellen sowie Diagramme und Fotos, die in den laufenden Text eingearbeitet wurden.

Im zweiten Teil sind die Grundrisse und Schnittzeichnungen der untersuchten Gebäude zusammengestellt. Diese Trennung war einerseits aus arbeitstechnischen Gründen vorteilhaft; sie sorgt außerdem für eine bessere Lesbarkeit des Kapitels 3.4 "Ergebnisse der Untersuchungen".

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Ergebnisse der Erhebungsmessungen

Die bereits in Abschnitt 1.1 erwähnte Erhebung des BMI umfaßte das folgende Arbeitsprogramm:

- I Ermittlung der Dosisleistung der Gammastrahlung
  - a) im Freien über natürlichem Grund
  - b) in Wohnhäusern,
- II Messung der spezifischen Aktivität von Kalium-40, Radium-226 und Thorium-232 in herkömmlichen und neuartigen Baustoffen,
- III Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der spezifischen Aktivität und der Dosisleistung,
- IV Untersuchung des Beitrages, den das aus den Baustoffen exhalierte Radon zur Strahlenbelastung der Bewohner liefert.

Über die Teile I bis III wird in /1/ berichtet. Für die anstehende Forschungsarbeit sind folgende Ergebnisse von besonderem Interesse:

- Die Dosisleistung in Häusern ist in der Regel größer als im Freien.
- Die Höhe der terrestrischen Strahlung zeigt sowohl im Freien als auch in Wohnungen ausgeprägte regionale Unterschiede. Die höchsten Dosisleistungen wurden u.a. im Neuwieder Becken, Saarland, Fichtelgebirge und im Bayrischen Wald vorgefunden.

Ein zweiter Bericht /2/ stellt die Ergebnisse der unter IV genannten Radonmessungen dar, auf die an dieser Stelle näher eingegangen werden soll.

Insgesamt wurden über 20.000 Messungen in fast 6.000 Wohnungen sowie ergänzende Messungen im Freien durchgeführt.

Die Häufigkeitsverteilung aller Wohnungsmittelwerte ist in Bild 1 dargestellt. Sie ist stark unsymmetrisch und flacht zu höheren Radonwerten hin ab. Durch eine logarithmische Transformation ergibt sich näherungsweise eine Normalverteilung, wobei die oberen 10 % der Werte durch eine zweite flachere Gerade besser angenähert werden (s. Bild 2).

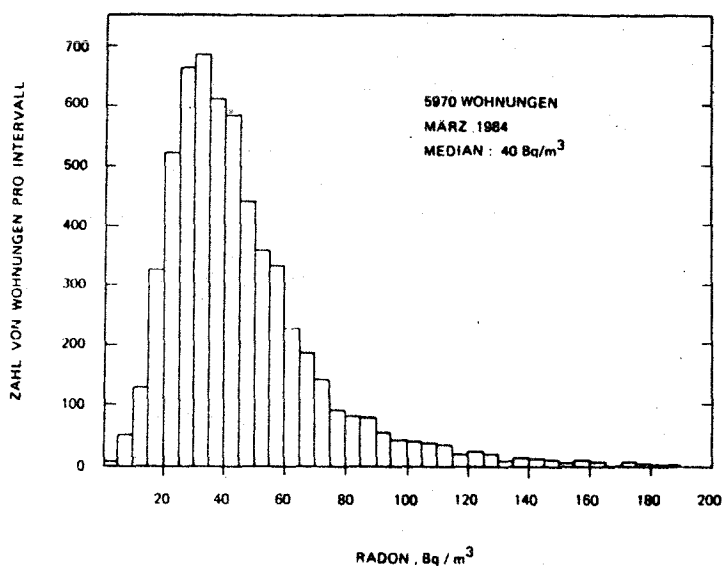


Bild 1: Häufigkeitsverteilung der Radon-Wohnungsmittelwerte (aus /2/)

Der Medianwert aller Meßergebnisse liegt bei ca. 40 Bq/m<sup>3</sup>; der Streufaktor  $\sigma_g$  beträgt 1,8. Weitere Fraktile sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Danach liegt z.B. die 99 %-Fraktile bei 220 Bq/m<sup>3</sup>. Dies bedeutet, daß in 99 % aller Wohnungen der Radonwert kleiner als 220 Bq/m<sup>3</sup> ist; dieser Wert wird also in 1 % aller Wohnungen überschritten. In 0,1 % aller Fälle liegen die Konzentrationen über 600 Bq/m<sup>3</sup> (99,9 %-Fraktile).

Tabelle 1: Fraktile für die Summenhäufigkeit der Wohnungsmittelwerte (nach /2/)

Fraktile %	Radonwert Bq/m <sup>3</sup>
50	40
85	70
90	80
95	110
99	220
99,9	600

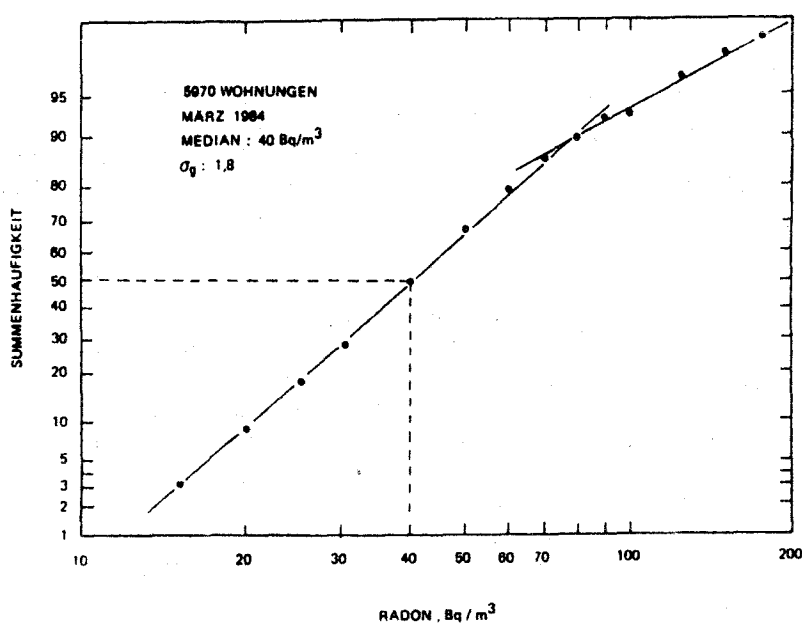


Bild 2: Summenhäufigkeit der Radon-Wohnungsmittelwerte (aus /2/)

Darüberhinaus wurde das umfangreiche Datenmaterial einerseits nach regionalen Gesichtspunkten, andererseits nach baulichen Kriterien statistisch ausgewertet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Auswertung nach den bauspezifischen Gesichtspunkten

- Haustyp
- Bauweise
- Unterkellerung
- Stockwerk
- Raumnutzung
- Baujahr.

Sämtliche Parameter mit Ausnahme der Raumnutzung üben demnach einen signifikanten Einfluß auf die Radonkonzentration aus. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Auswertung lediglich getrennt nach den einzelnen Klassifizierungsmerkmalen und nicht nach kombinierten Merkmalen erfolgte. Dadurch bleiben mögliche Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Klassifizierungsgrößen unberücksichtigt.

Darüberhinaus wurde in /2/ versucht, den Einfluß der verwendeten Baustoffe auf die Radonkonzentration im Innenraum darzustellen. Dabei wurden zehn Baustoffe hinsichtlich ihrer Anwendung als Wand-, Decken- und Fußbodenmaterial beurteilt. Lediglich bei den Wandbaustoffen traten größere Unterschiede auf: die geringsten Werte fand man in Holzhäusern, die höchsten in Häusern mit Lehm- bzw. Natursteinwänden.

Tabelle 2: Einfluß bauspezifischer Merkmale auf die Radonkonzentration in Wohnungen /2/

Klassifizierung	Radon-Medianwert Bq/m <sup>3</sup>
<b>Haustyp</b>	
Einzelhaus (Ein- und Zweifamilienhaus)	43
Mehrfamilienhaus	35
Hochhaus	33
<b>Bauweise</b>	
Leichtbau-Fertighaus	29
Massivhaus	41
Fachwerkhaus	50
<b>Unterkellerung</b>	
vollständig unterkellert	38
teilweise unterkellert	50
ohne Keller	43
<b>Stockwerk</b>	
Keller	52
Erdgeschoß	43
1. Obergeschoß	38
2. Obergeschoß und höher	33
<b>Raumnutzung</b>	
Schlafzimmer	37
Wohnzimmer	41
Küche	37
Kinderzimmer	37
<b>Baujahr</b>	
vor 1900	50
zwischen 1900 und 1948	39
nach 1948	40

## 2.2 Radioaktivität von Baustoffen

Radioaktive Substanzen sind in allen Steinen und Erden und somit auch in den hieraus hergestellten Baustoffen vorhanden. Für die Beurteilung sind insbesondere die Elemente

- Kalium-40
- Radium-226
- Thorium-232

von Interesse.

Die Beurteilung von Baustoffen erfolgt meist mit Hilfe einer Summenformel, in der die spezifische Aktivität  $a$  und die maximal zulässige Konzentration  $MK$  für jedes der drei oben genannten Radionuklide berücksichtigt werden:

$$\frac{a_{K-40}}{MK_{K-40}} + \frac{a_{Ra-226}}{MK_{Ra-226}} + \frac{a_{Th-232}}{MK_{Th-232}} \leq 1 \quad (1)$$

Bei der Festlegung der  $MK$ -Werte gingen Krišiuik et al. /5/ davon aus, daß durch den dauernden Aufenthalt in Wohnräumen die Strahleneinwirkung auf den Menschen um maximal 150 mrad pro Jahr erhöht werden darf. Dabei nahmen die Autoren als Modellvorstellung zunächst anstelle eines realen Hauses einen Hohlraum in einem unendlich dicken Wandmaterial an. Diese Annahmen wurden später korrigiert, indem die endliche Wanddicke sowie die Fenster- und Türöffnungen berücksichtigt wurden:

$$\frac{a_{K-40}}{9620} + \frac{a_{Ra-226}}{740} + \frac{a_{Th-232}}{520} \leq 1 \quad (2)$$

( $a$  in Bq/kg)

Über Messungen an Baustoffen liegen mittlerweile eine Reihe von Untersuchungsergebnissen vor (siehe z.B. /6,7,8/). Eine umfangreiche Zusammenstellung und Bewertung ist in /1/ enthalten. Danach ist der überwiegende Teil der Baustoffe als unbedenklich einzustufen. Werte für die Summenformel größer 1 wurden nur vereinzelt, z.B. bei bestimmten Natursteinen (Granit, Tuff, Bims) bzw. bei einigen industriellen Nebenprodukten (Hochofenschlacke, Flugasche, Chemiegips) festgestellt.

Die Summenformel nach Gleichung (2) berücksichtigt nicht denjenigen Strahlungsanteil, der durch das aus dem Baustoff austretende Radon (Rn-222) verursacht wird. Deshalb wurde vorgeschlagen, den  $MK$ -Wert für Ra-226 auf die Hälfte herabzusetzen, um dadurch den zusätzlichen Beitrag des Radon (als direktes Folgeprodukt des Ra-226) zu erfassen /9/.

Eine derartige Regelung setzt allerdings ein - zumindest näherungsweise - konstantes Verhältnis zwischen Radiumkonzentration und Radonexhalationsrate voraus, das jedoch nicht unbedingt gegeben ist.

In Tabelle 3 sind die mittleren Radiumkonzentrationen und Radonexhalationsraten sowie ihre Verhältniswerte für verschiedene Baustoffe zusammengestellt. Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, weisen z.B. Ziegel und Beton mit 50 Bq/kg zwar dieselbe Radiumkonzentration, jedoch deutlich unterschiedliche Radonexhalationsraten (0,2 bzw. 1,1 Bq/(m<sup>2</sup>\*h)) auf.

Tabelle 3: Mittlere Radiumkonzentrationen und Radonexhalationsraten verschiedener Baumaterialien (nach /6/)

Baustoff	Radiumkonzentration a Bq/kg	Radonexhalationsrate e Bq/(m <sup>2</sup> *h)	e/a kg/(m <sup>2</sup> *h)
Natursandstein	10	1,0	0,100
Porphyr	40	3,3	0,083
Kalksandstein	10	0,9	0,090
Ziegel, Klinker	50	0,2	0,004
Naturbims	60	1,5	0,025
Hüttenbims	70	0,7	0,010
Hüttenschlacke	75	0,6	0,008
Beton	50	1,1	0,022
Gasbeton	20	1,0	0,050
Naturgips	5	0,2	0,040
Chemiegips			
- Apatit	20	0,4	0,020
- Phosphorit	260	24,1	0,093

Dieser Sachverhalt läßt sich mit Hilfe des Verhältniswertes e/a anschaulich beschreiben. Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, schwankt der Verhältniswert in weiten Grenzen zwischen 0,004 und 0,1. Je größer der Verhältniswert ist, desto größer ist der vom Baustoff exhalierte Radonanteil, bezogen auf die jeweilige Radiumkonzentration. Insgesamt ist festzustellen, daß relativ dichte Baustoffe wie Ziegel und Hüttenschlacke wenig Radon abgeben, während bei den porösen Stoffen, z.B. Natur- und Kalksandsteinen, relativ größere Mengen freigesetzt werden.

Bei einigen Baustoffen wird die Exhalationsrate neben der Porosität zusätzlich durch den Feuchtegehalt beeinflusst. Hierzu durchgeführte Untersuchungen an Beton ergaben folgenden Zusammenhang /6/:

Sowohl trockene als auch weitgehend wassergesättigte Betone weisen relativ geringe Exhalationsraten auf (siehe Bild 3). Ab etwa 2 % Feuchte steigt die Exhalationsrate stark an und erreicht bei 4 bis 5 % Feuchte ein ausgeprägtes Maximum.

Eine wissenschaftlich fundierte Erklärung für dieses Phänomen wurde bisher noch nicht gefunden /6/. Interessanterweise gilt die oben beschriebene Abhängigkeit von der Betonfeuchte in gleicher oder zumindest ähnlicher Weise für das Eindringen von Kohlendioxid bzw. die daraus resultierende Karbonatisierung des Betons.

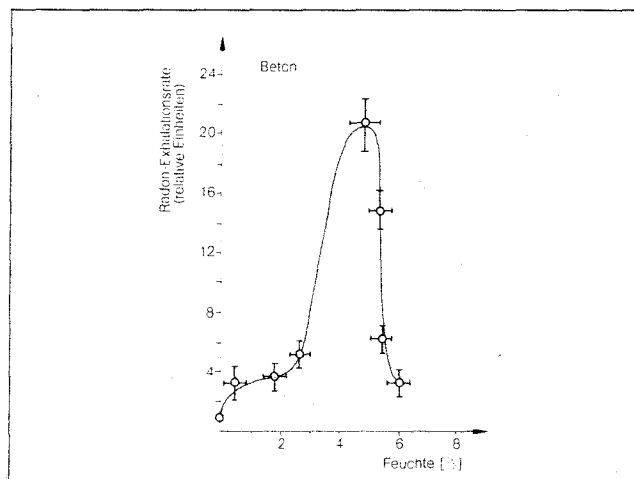


Bild 3: Einfluß der Feuchte auf die Radon-Exhalationsrate von Beton. Die Exhalationsrate ist relativ zur Rate bei trockenem Beton angegeben. (aus /6/)

Die Radonexhalationsrate von Baustoffen kann nach Wicke /10/ mit Hilfe der nachstehenden Formel rechnerisch abgeschätzt werden:

$$e_{\text{Rn-222}} = a_{\text{Ra-226}} \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot \lambda_{\text{Rn-222}} \cdot d/2 \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

- $e_{\text{Rn-222}}$  : Radonexhalationsrate in  $\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- $a_{\text{Ra-226}}$  : spezifische Aktivität von Radium-226 im Baustoff in  $\text{Bq}/\text{kg}$
- $\varepsilon$  : Emaniervermögen des Baustoffes ( $<1$ , im allgemeinen zwischen 0,01 und 0,1)
- $\rho$  : Rohdichte des Baustoffes in  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $\lambda_{\text{Rn-222}}$  : Zerfallskonstante von Radon-222 =  $7,56 \cdot 10^{-3} \text{ h}^{-1}$
- $d$  : Dicke des Bauteils in m



In der österreichischen Vornorm S 5200 "Radioaktivität in Baustoffen" /11/ wird die erweiterte Summenformel

$$\frac{a_{K-40}}{9620} + \frac{a_{Ra-226}}{740} (1 + 0,1 * \epsilon * \rho * d) + \frac{a_{Th-232}}{520} \leq 1 \quad (4)$$

angegeben; hierin wird das vom Baustoff exhalierte Radon durch den zweiten Term in der Klammer berücksichtigt.

Die Beurteilung erfolgt nach einem zweistufigen Verfahren. Zunächst werden die Aktivitäten der drei relevanten Radionuklide gemessen; für  $\epsilon$ ,  $\rho$  und  $d$  werden im ersten Schritt vorgegebene Rechenwerte ( $\epsilon = 0,1$ ;  $\rho = 2000$ ;  $d = 0,3$ ) eingesetzt. Erfüllt der Baustoff die Bedingung der Gleichung (4), gilt er als unbedenklich. Liefert die Summenformel hingegen einen Wert größer 1, so muß die Radonexhalationsrate gemessen und der Baustoff anhand des Meßwertes erneut beurteilt werden.

Bei bekannter Exhalationsrate läßt sich die zu erwartende Raumlufkonzentration mit Hilfe folgender Näherungsformel /10/ abschätzen:

$$c_i = \frac{e * F * v^{-1} + L * c_a}{\lambda + L} \quad (5)$$

mit

- $c_i$  : Raumlufkonzentration in Bq/m<sup>3</sup>
- $c_a$  : Außenlufkonzentration in Bq/m<sup>3</sup>
- $F * v^{-1}$  : Verhältnis Oberfläche zu Volumen des Raumes in m<sup>-1</sup>
- $L$  : Lüftungsrate in h<sup>-1</sup>
- $\lambda$  : Zerfallskonstante =  $7,56 * 10^{-3} \text{ h}^{-1}$
- $e$  : Exhalationsrate in Bq/(m<sup>2</sup>\*h)

Da die Zerfallskonstante für Radon gegenüber der Lüftungsrate selbst bei starker Fenster- und Türabdichtung vernachlässigbar klein ist, kann Gleichung (5) vereinfacht werden:

$$c_i = \frac{e * F * v^{-1}}{L} + c_a \quad (6)$$

Die Radonkonzentration in Innenräumen ist demnach umso höher,

- je größer die Exhalationsrate des Baustoffes,
- je größer das Verhältnis Oberfläche zu Volumen des betreffenden Raumes,
- je geringer die Lüftungsrate des Raumes und
- je größer die Außenluftkonzentration ist.

Die Berechnung der Raumlufkonzentration nach Gleichung (6) kann allenfalls einen mehr oder weniger groben Anhaltswert liefern, weil in Innenräumen i.d.R. eine Vielzahl von Baustoffen verwendet wird bzw. die Radonabgabe durch Tapeten, Anstriche usw. gebremst wird.

### 2.3 Sanierungsverfahren

Erfahrungen bzgl. der Sanierung radonbelasteter Gebäude liegen z.B. in den Vereinigten Staaten und den skandinavischen Ländern vor. In den USA wurde von der dortigen Umweltschutzbehörde EPA ein Leitfaden für Sanierungen /12/ herausgegeben, in dem unterschiedliche Verfahren hinsichtlich Wirkungsweise, Wirkungsgrad, Kosten usw. beschrieben sind. Die Strahlenschutzinstitute der skandinavischen Länder brachten eine gemeinsame Broschüre zum Thema "Natürliche Strahlung in den skandinavischen Ländern" /13/ heraus.

Um einen systematischen Überblick über die verschiedenen Sanierungsverfahren geben zu können, erscheint es sinnvoll, die einzelnen Verfahren zu ordnen.

Eine mögliche Unterteilung ist die Trennung in "aktive" und "passive" Maßnahmen. Unter "aktiv" sind dabei all diejenigen Maßnahmen zu verstehen, die den dauernden bzw. intermittierenden Betrieb von Aggregaten (z.B. Pumpen oder Ventilatoren) erfordern, während bei den "passiven" Maßnahmen lediglich der Einbau bzw. die Installation eine Absenkung der Radonkonzentration bewirkt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Verfahren hinsichtlich ihrer Wirkungsweise einzuordnen. Eine derartige Systematik wurde bereits in /14/ vorgestellt und soll hier näher erläutert werden.

In den meisten Fällen, bei denen höhere Radonkonzentrationen in der Raumluf beobachtet wurden, ist das aus dem Boden austretende Radon die primäre Ursache. Andere Radonquellen, wie z.B. Baustoffe, Wasser, Gas usw. spielen in der Regel nur eine untergeordnete Rolle. Die nachfolgenden Überlegungen konzentrieren sich daher auf die Radonquelle "Baugrund".

Der Radongehalt in der Raumluft wird von drei wesentlichen Faktoren bestimmt:

- a) Radonabgabe des Bodens an das Gebäude
- b) Durchtrittsmöglichkeiten des Radons durch erdberührte Bauteile
- c) Verdünnung der radonhaltigen Raumluft durch Zufuhr von Außenluft

Aus den drei genannten Einflußfaktoren auf die Raumluftkonzentration lassen sich direkt die zugehörigen Sanierungsprinzipien ableiten:

Prinzip A: Radonabgabe des Bodens an das Gebäude verringern

Prinzip B: Durchtrittsmöglichkeiten des Radons durch erdberührte Bauteile einschränken

Prinzip C: Zufuhr von Außenluft erhöhen

### 2.3.1 Sanierungsprinzip A

Die sicherste Methode, um die Radonabgabe des Bodens zu verringern, ist das Entfernen bzw. der Austausch des Erdreichs. Derartige Maßnahmen sind jedoch nur bei Neubauten möglich und dürften hier auch nur in Einzelfällen wirtschaftlich vertretbar sein. Bei bestehenden Bauwerken scheidet diese Methode aus. Derzeit existieren zwar keine Technologien, durch die die Radonbildung im Boden direkt unterbunden werden könnte, allerdings ist es möglich, das Radon aus dem Boden abzusaugen und dadurch größtenteils vom Gebäude fernzuhalten.

Bei diesen Absaugverfahren werden perforierte Rohre in das Erdreich eingelegt (siehe Bild 4). Über eine Pumpe wird das radonhaltige Bodengas abgesaugt und ins Freie geleitet. Die Rohre können entweder gebäudeseitig durch die Bodenplatte oder außen unmittelbar neben dem Gebäude in das Erdreich geführt werden.

Outside fan  
draws radon  
away from house

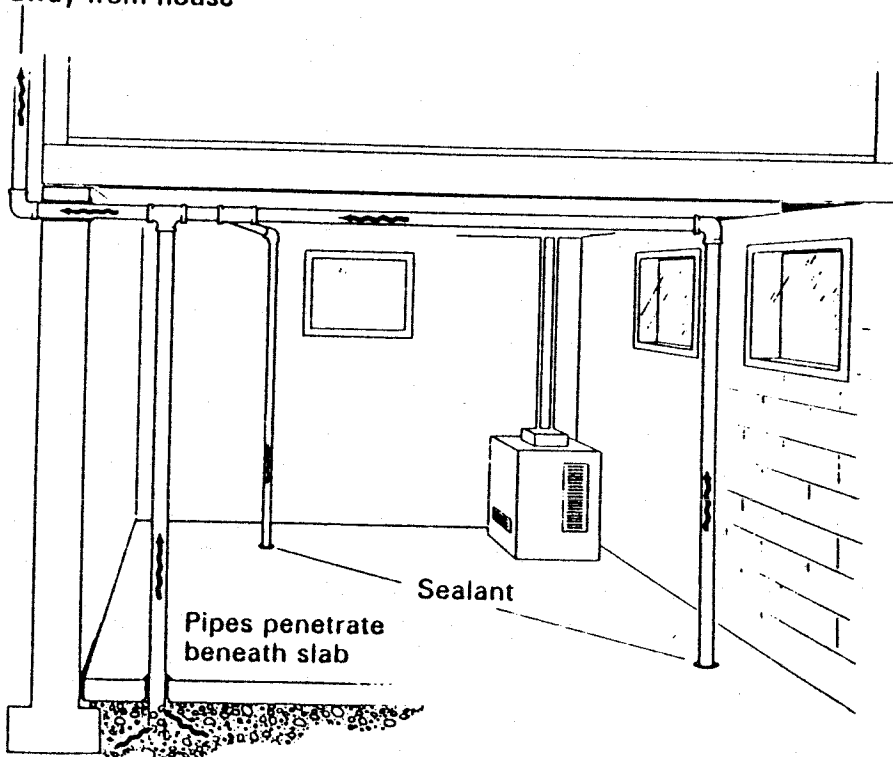


Bild 4: Absaugen über Einzelrohre

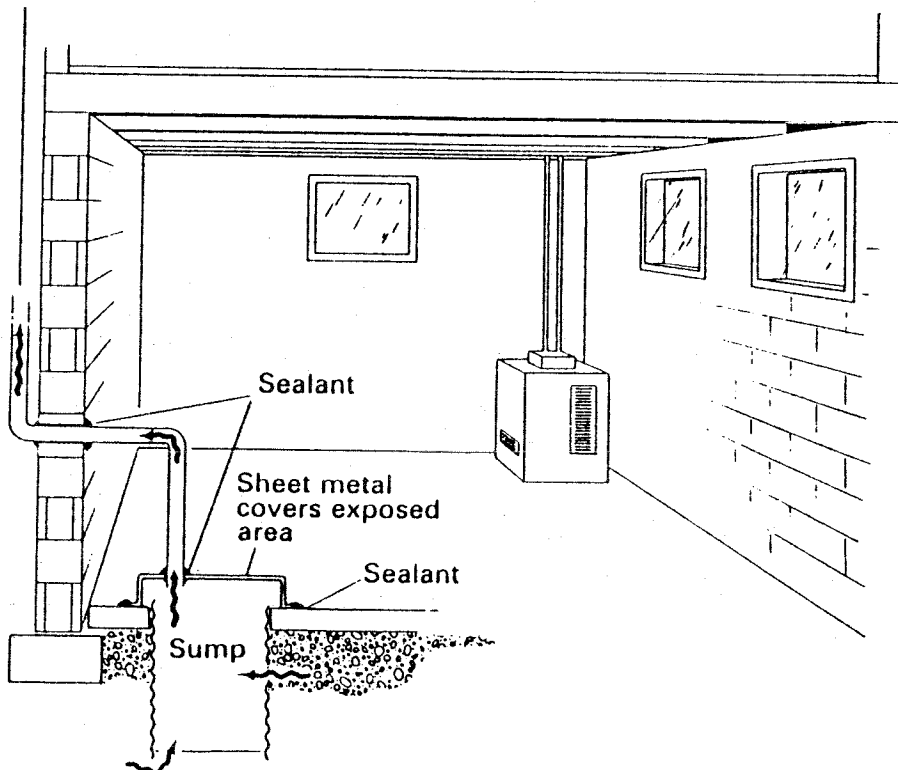


Bild 5: Absaugen über Sammelschacht

Ein weiteres Absaugverfahren ist in Bild 5 schematisch dargestellt. In die Bodenplatte wird eine größere Öffnung eingebracht, und das darunterliegende Erdreich wird ausgehoben. Dieser Sammelschacht wird mit einem Metalldeckel abgedeckt, von dem aus eine Rohrleitung zur Pumpe führt.

Besondere Probleme können bei Wänden aus Hohlblocksteinen auftreten, weil das Radon hier durch die Kammern der Steine ggfs. bis in höherliegende Stockwerke strömen kann. In derartigen Fällen werden im Mauerwerk Bohrungen angebracht, in die die Abzugsrohre direkt eingesetzt werden (siehe Bild 6 rechts).

Eine Variante dieser Methode sieht vor, die Wandbohrungen möglichst weit unten zu setzen und das Radon über eine durchgehende winkelförmige Fußleiste zu sammeln und abzusaugen (siehe Bild 6 links). Hierbei ist vorteilhaft, daß das im Anschlußbereich Mauerwerk/Bodenplatte durchtretende Radon direkt mitabgeführt wird.

Darüber hinaus existieren weitere Verfahren, so z.B. das Absaugen über bereits vorhandene Entwässerungsdrainagen (Bild 7).

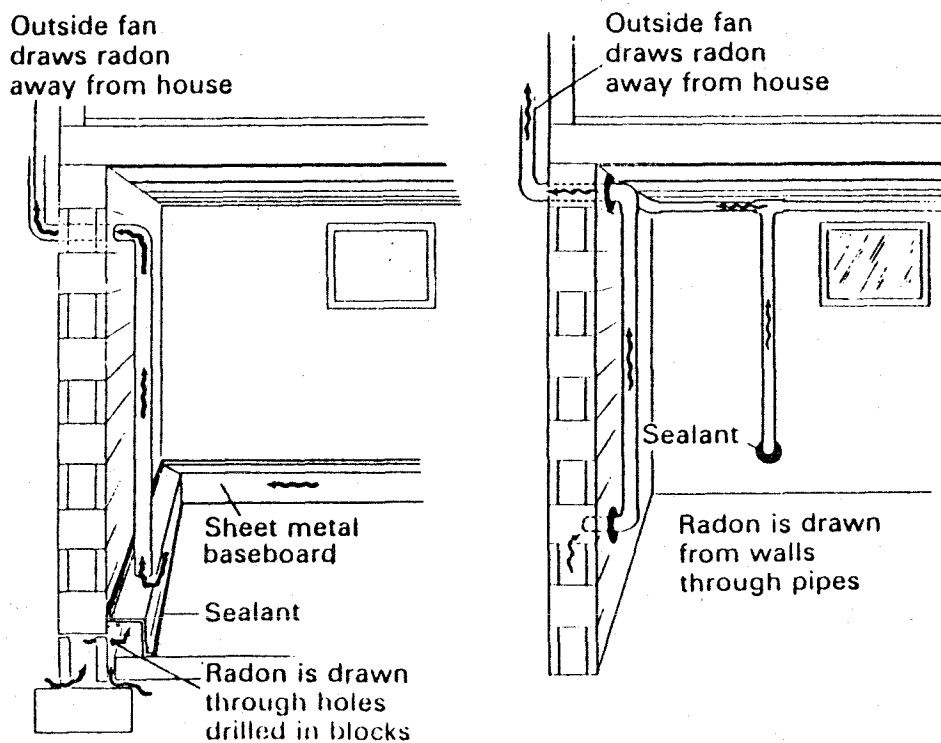


Bild 6: Absaugen bei Wänden aus Hohlblocksteinen

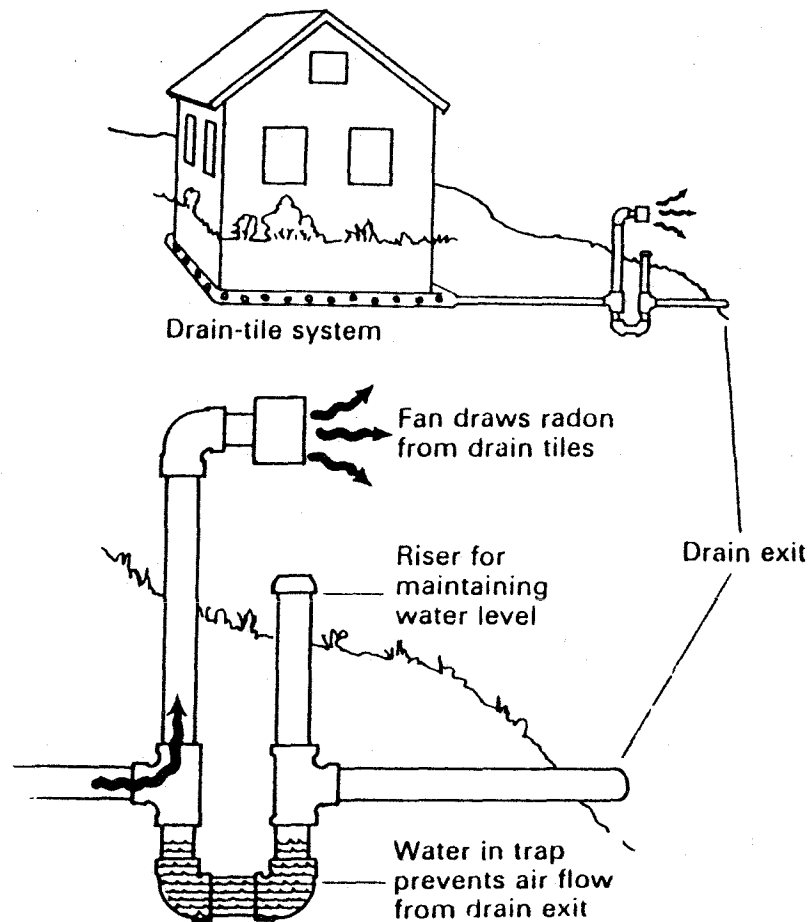


Bild 7: Absaugen über Entwässerungsdrainage

### 2.3.2 Sanierungsprinzip B

Um den Eintritt von Radon in das Gebäude zu behindern, muß die gesamte Baukonstruktion im erdberührten Bereich möglichst gasdicht sein. Offensichtliche Schwachstellen, wie z.B. durchgehende Risse in der Bodenplatte, nicht vermörtelte Fugen im Kellermauerwerk, nicht abgedichtete Rohr- und Leitungsdurchführungen usw. können oft mit relativ geringem Aufwand beseitigt werden (Bild 8).

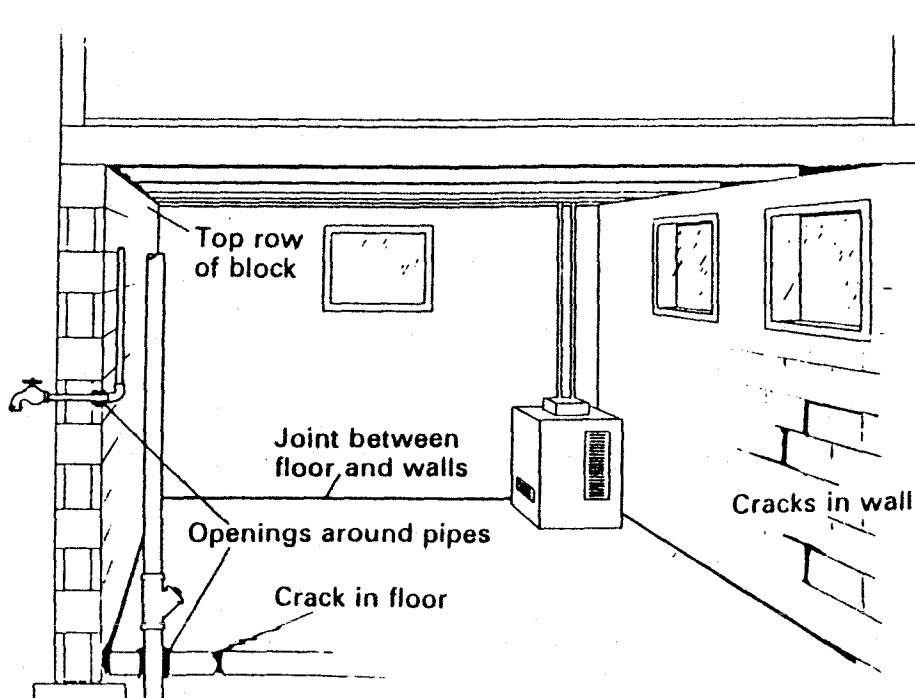


Bild 8: Abdichten von Schwachstellen

Andererseits können aber auch großflächige Abdichtungsmaßnahmen erforderlich sein, z.B. bei älteren Gebäuden mit direkt auf dem Erdreich verlegten Holzfußböden. Hier bietet sich z.B. der nachträgliche Einbau einer Betonbodenplatte an.

### 2.3.3 Sanierungsprinzip C

Im Gegensatz zu den Prinzipien A und B wird bei dieser Methode das Eindringen von Radon in die Innenräume nicht behindert; vielmehr wird die Raumluftkonzentration durch ausreichende Außenluftzufuhr verringert.

Zu den Maßnahmen zählen die natürliche Lüftung über geöffnete Fenster, ggfs. durch Fensterventilatoren mechanisch verstärkt und geregelt (Bild 9). Eine derartige Lüftung dürfte in unbeheizten Räumen vertretbar sein, führt allerdings in Wohnräumen zu einem erhöhten Heizenergiebedarf. Dieser Nachteil kann durch den Einbau eines Lüftungssystems mit Wärmetauscher, in dem die eintretende Außenluft von der austretenden Innenluft erwärmt wird, großteils kompensiert werden (Bild 10).

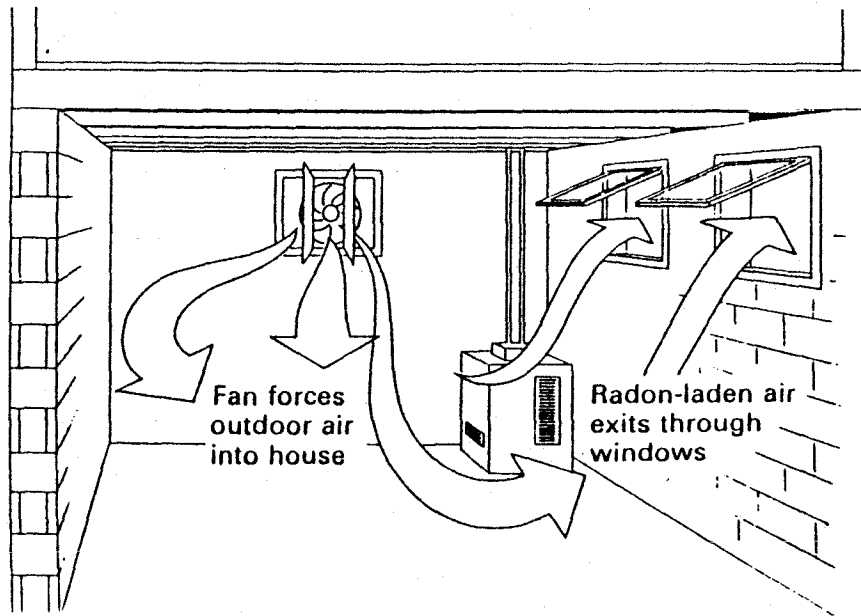


Bild 9: Lüftung, durch Ventilator verstärkt

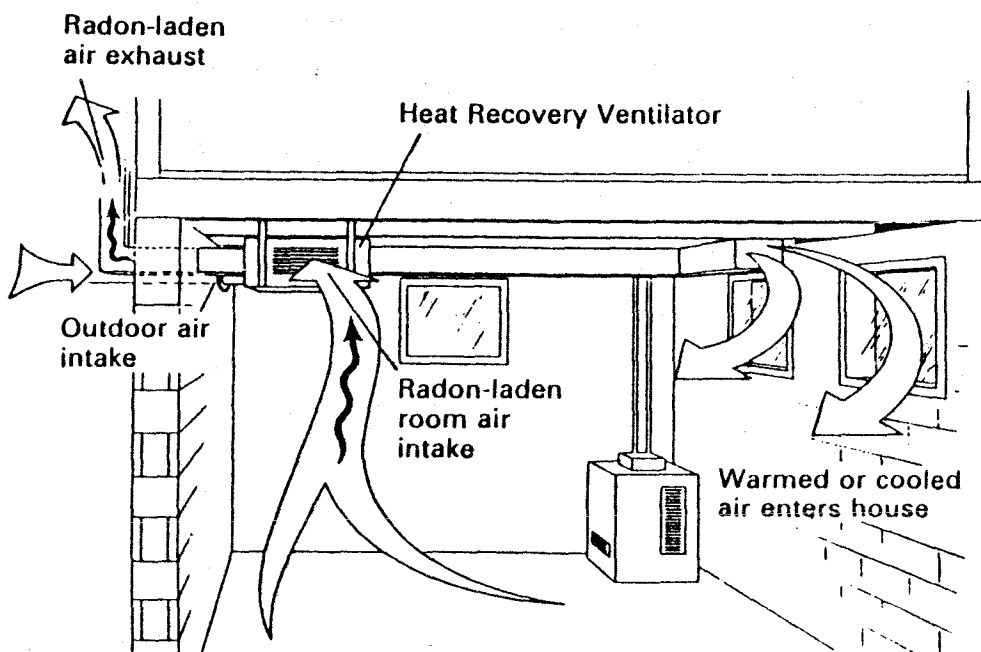


Bild 10: Lüftung mit Wärmetauscher



An dieser Stelle sei noch eine weitere mögliche Ursache erhöhter Radonkonzentrationen in Innenräumen erwähnt. Bestimmte Geräte und Aggregate wie Heizungsanlagen, Öfen, Wäschetrockner usw. verbrauchen während ihres Betriebes Luft und können somit im Innenraum einen Unterdruck erzeugen. Erfolgt nun der Druckausgleich hauptsächlich - bei dichtschließenden Türen und Fenstern ist dies der Fall - mit der Bodenatmosphäre, so wird Bodengas in den Innenraum hineingesaugt. Dieser Saugeffekt wird durch druckausgleichende Maßnahmen, d.h. direkte Außenluftzuführung zum luftverbrauchenden Aggregat, verhindert (siehe Bild 11).

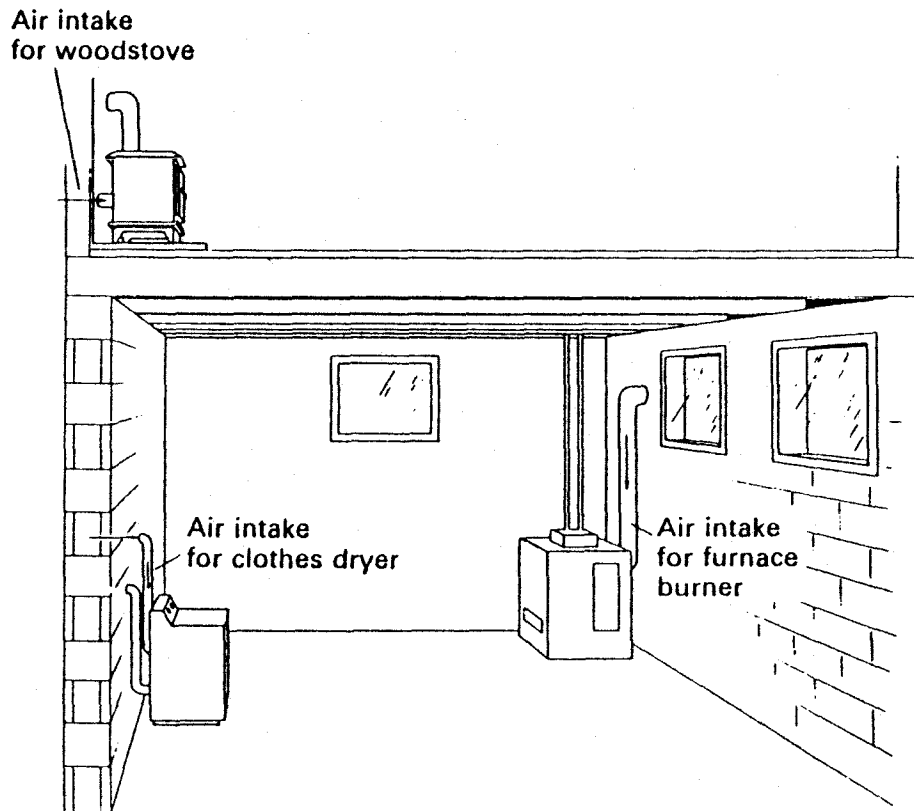


Bild 11: Druckausgleichende Maßnahmen

#### 2.3.4 Vergleich der Verfahren

Bei der Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens sind eine Reihe von Faktoren wie

- gebäudespezifische Merkmale  
(z.B. Grundriß, Raumnutzung)
- Baugrundverhältnisse
- Kosten (Installations- und evtl. laufende Unterhaltungskosten)
- evtl. Belästigung der Bewohner  
(z.B. durch Geräuschentwicklung)

zu berücksichtigen.

Bei allen Absaugmethoden mit Ausnahme der in Bild 6 dargestellten hängt die Wirksamkeit wesentlich von den Eigenschaften des Baugrundes, insbesondere von seiner Permeabilität ab. Das gesamte Rohrsystem muß - abgesehen von der Perforation im erdberührten Bereich - dicht sein; sämtliche Verbindungsstellen, Anschlüsse an Bodenplatte und Wanddurchführungen müssen sorgfältig abgedichtet werden. Durch den Betrieb der Pumpe fallen laufende Unterhaltungskosten (Stromverbrauch, Wartungskosten) an. Der Standort der Pumpe muß so gewählt werden, daß die Bewohner durch die Geräuschentwicklung möglichst wenig belästigt werden.

Die Wirksamkeit von Abdichtungsmaßnahmen ist äußerst gebäudespezifisch. Eine erfolgreiche Sanierung ist nur dann möglich, wenn die vorhandenen Schwachstellen erkannt und im Hinblick auf die Radonbelastung richtig eingeschätzt werden.

Ausreichende Lüftung der Räume ist eine einfache und effektive Sofortmaßnahme. Den geringeren Installationskosten (Ausnahme: Wärmetauscher) steht ein erhöhter Heizenergiebedarf gegenüber. Lüftungsmaßnahmen sind insbesondere bei nicht beheizten Kellerräumen zu empfehlen.

### 3 Standort A

#### 3.1 Allgemeine Angaben

Als Standort A wurde die Ortschaft Großschloppen ausgewählt. Hier waren bereits früher vom ISH umfangreiche Messungen durchgeführt worden; außerdem war von der LGA die Sanierung eines Raumes in einem Wohnhaus geplant und überwacht worden. Auch schlägt Professor Aurand in seinem Bericht /15/ Großschloppen als einen der zu untersuchenden Standorte vor.

Die Ortschaft Großschloppen im oberfränkischen Fichtelgebirge liegt auf ca. 597 m ü. NN etwa 4,5 km nordwestlich von Weißenstadt am Fuß eines nach Südosten geneigten Hangs (Bild 12). Im Ort und in seiner näheren Umgebung befinden sich mehrere Weiher und Tümpel; Fließgewässer fehlen jedoch.

Die Ortschaft besteht aus rd. 20 Wohngebäuden sowie einer größeren Zahl landwirtschaftlich genutzter Gebäude (Bild 12). Der Ort ist typisch landwirtschaftlich geprägt.

Wenige hundert Meter östlich von Großschloppen wurde im Untertagebau versuchsweise uranhaltiges Gestein gefördert.

#### 3.2 Geologische Verhältnisse

Die geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000, GK-Nr. 5837 Weißenstadt, München 1962, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt, zeigt die geologischen Verhältnisse in der Umgebung von Großschloppen auf. In Bild 13 ist ein Ausschnitt aus der geologischen Karte dargestellt; Bild 14 zeigt einen Profilschnitt nahe Großschloppen.

##### 3.2.1 Geologisches Gesamtbild

Zum besseren Verständnis der örtlichen geologischen Verhältnisse wird im folgenden eine kurze Übersicht über das geologische Gesamtbild des Raumes dargestellt.

Auf Blatt Weißenstadt begegnen sich zwei geologische Einheiten mit verschiedener Baugeschichte. Die Münchberger Gneismasse im Nordwesten mit ihren variszisch metamorph überprägten Gesteinen und das Fichtelgebirge im Südosten mit seinen Graniten und ordovizischen (500 - 435 Mio. Jahre) Metamorphiten (Quarzite, Glimmerschiefer und Marmore).

Dabei sind die Granite in variszischer Zeit (ca. 350 - 260 Mio. Jahre) in mehreren Phasen in die älteren ordovizischen Gesteine eingedrungen. Beim derzeitigen Kenntnisstand werden fünf Granitgenerationen unterschiedlichen Alters und Mineralbestands unterschieden, wovon drei auf Blatt Weißenstadt vorkommen:

# Großschloppen

GEMARKUNG: REICHOLDSGRÜN  
ORTSTEIL DER STADT: 8671  
KIRCHENLAMITZ

LAGEPLAN M~1:2000

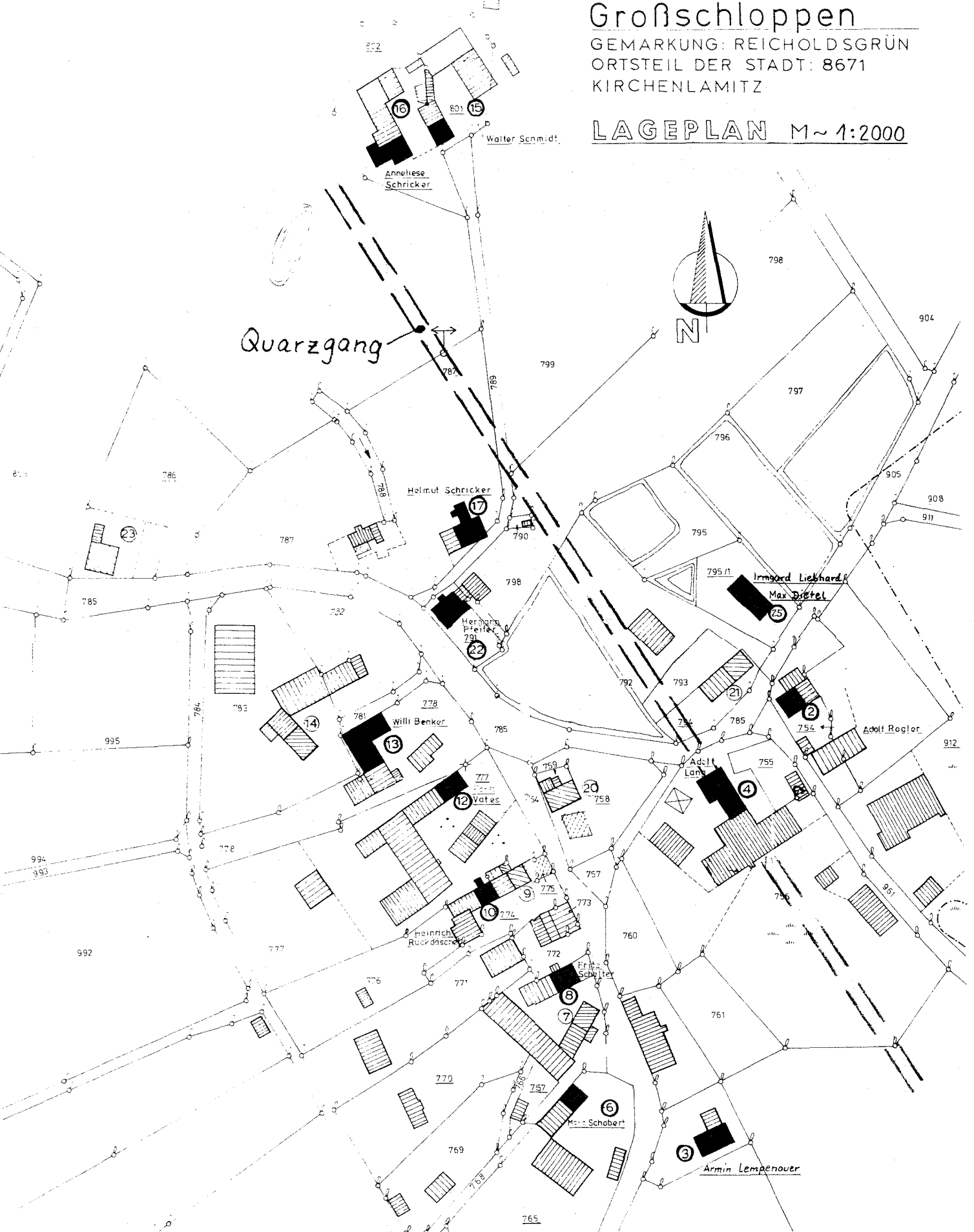
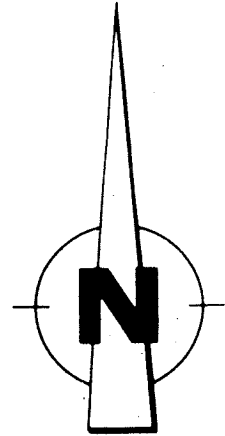
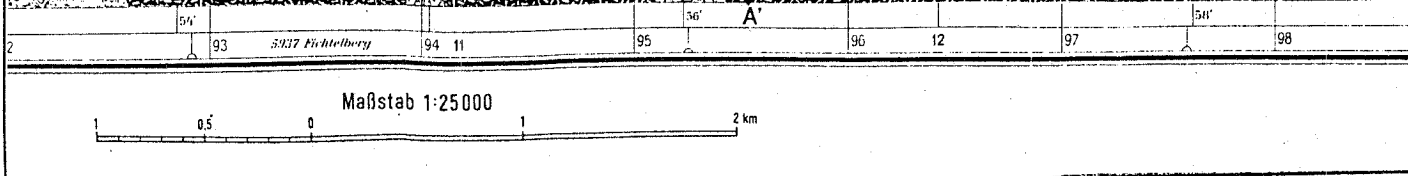



Bild 12: Lageplan von Großschloppen (Standort A)  
Maßstab ungefähr 1 : 2.000

Bild 13: Ausschnitt aus der Geologischen Landeskarte



- G<sub>1</sub> = Weißenstadt-Markt-leuthener-Granit
- G<sub>2</sub> = Randgranit
- G<sub>3</sub> = Kerngranit
- A-A' = Profillinie

 <b>Landesgewerbeanstalt Bayern</b> Nürnberg, Grundbauinstitut		
Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin		
Bauvorhaben: Radon - Forschung		
gezeichnet: <i>Seli</i>	<h1>LAGEPLAN</h1>	
zum 1. Bericht		
Datum: Feb. '89		
M = 1 : 25.000	Az.: 18613380	Anlage: 1

Bauvorhaben: Radonforschung

NW

Fichtelgebirge

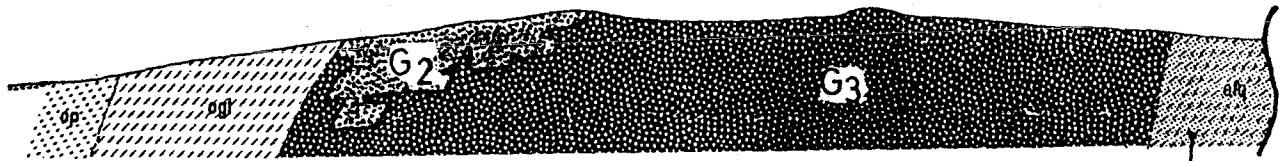
A

Waldstein-Massiv

Bergkopf (857)

Hoher Stein (817)

831



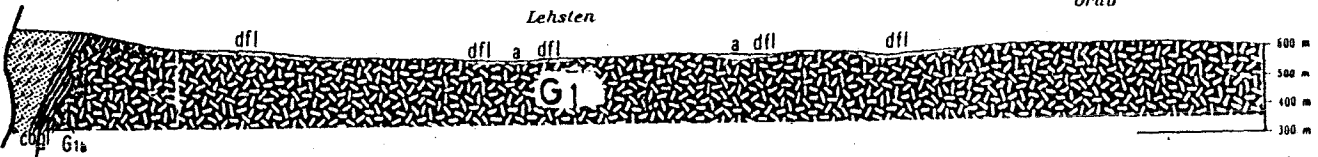
Quarzit

Großschloppen

SE

A'

Grub



Glimmerschiefer

G<sub>1</sub> = Weißenstadt-Markt-leuthener-Granit

G<sub>2</sub> = Randgranit

G<sub>3</sub> = Kerngranit

A - A' = Profillinie

Bild 14:

Profilschnitt nahe  
Großschloppen

- G<sub>1</sub> = Weißenstadt-Marktleuthener-Porphyrgranit, ein mittel- bis feinkörniger Granit, der Schollen von Redwitzit (G<sub>0</sub>) enthält,
- G<sub>2</sub> = Randgranit, ein Zweiglimmer-Granit mit porphyrischer Struktur (größere Minerale in dichter, feinkörniger Struktur eingebettet),
- G<sub>3</sub> = Kerngranit, der als gleichkörniger Granit in den Randgranit intrudiert ist und mit seiner Plagioklasarmut den zunehmenden SiO<sub>2</sub>-Gehalt der Schmelzen anzeigt.

Das Alter der Granite nimmt von G<sub>1</sub> nach G<sub>3</sub> ab. Bei einer jüngeren Bruchtektonik entstanden schließlich Quarz- und Quarzporphyrgänge, in denen Uranerze hydrothermal - aus einer Wasserdampfphase - ausgeschieden und bisweilen angereichert wurden.

### 3.2.2 Geologische Situation von Großschloppen

Großschloppen (siehe Bilder 13 und 14) ist am Südrand eines Schichtpakets von ordovizischen Glimmerschiefern und Quarziten gelegen, das südwest-nordost-streichend im Süden von Massiven des G<sub>1</sub>-Granits (Weißenstadt-Marktleuthener-Granit) und im Norden von G<sub>3</sub>-Granit (Epprechtstein) begrenzt wird.

Zahlreiche Steinbrüche im Epprechtsteiner Massiv am Waldstein sowie am Kleinen und Großen Kornberg zeugen von der regen Verwendung des G<sub>3</sub>-Kerngranits als Baustein. Im Weißenstadt-Marktleuthener Massiv befinden sich dagegen keine Steinbrüche. Dies zeigt auf, daß besonders der gleichkörnige Granit bei der wirtschaftlichen Nutzung bevorzugt wurde.

Im Ortsgebiet von Großschloppen ist der Felsuntergrund von einer mächtigen Decke aus Fließerde, Fließlehm und Wandschutt bedeckt. Ein Bodenprofil konnte anlässlich einer Ortsbegehung in einer Baugrube deutlich eingesehen werden. Hier wurden über dem massiven Granit zunächst eine Zone mit relativ durchlässigem Granitgrus (verwitterter Granit) und darüber schließlich noch ca. 1,5 m Fließerde (sand, stark tonig, schwach kiesig) festgestellt.

Im Untergrund von Großschloppen verläuft eine geologische Störung in Form einer nordnordwest-südsüdost-streichenden Verwerfung, die steil nach Osten einfällt (Bilder 12 und 13). Diese Bruchstruktur ist mit Quarz mineralisiert.

### 3.2.3 Geogene Radonbelastungen

Das Radon, eine wesentliche Quelle der natürlichen Strahlenbelastung, ist ein radioaktives Edelgas, das beim radioaktiven Zerfall von Uran entsteht. Es entweicht daher insbesondere in Gegenden aus dem Boden, deren natürlicher Untergrund aus Gesteinen mit relativ hohen Urangelhalten besteht bzw. wo Urananreicherungen vorliegen. Als besonders uranhöfig sind  $\text{SiO}_2$ -reiche, granitische Gesteine anzusehen, die durchschnittlich 2,8 bis 8,5 ppm Uran enthalten.

Strahlungsmessungen im Blattgebiet Weißenstadt im Jahre 1959 erbrachten hohe Strahlungsspiegel für den Ausstrich des  $G_3$ -Kerngranits im Höhenzug von Waldstein-Epprechtstein und Kornberg, jedoch auch über ausgedehnten Flächen mit ordovizischen Metamorphiten im Untergrund. In Granit-Steinbrüchen dieses Gebiets wurden an ausgelesenen Handstücken mit z.T. sichtbarer Autunitführung (Uranmineral) radiometrisch Urangelhalte von 30 bis 70 g/t, maximal bis 150 g/t bestimmt. Im  $G_1$ -Granit (Weißenstadt-Marktleuthener-Granit) liegen die Strahlungswerte dagegen mit wenigen Ausnahmen deutlich niedriger.

Der erhöhte Urangelhalt des  $G_3$ -Granits erklärt sich daraus, daß dieses zuletzt intrudierte Magma als Restschmelze deutlich erhöhte  $\text{SiO}_2$ -Gehalte aufwies. In Restlösungen derart saurer Magmen reichert sich das Uran wegen seines großen Ionenradius bevorzugt an und erscheint als Pechblende oder Uranit in Pegmatiten und hydrothermalen Gängen des Gefolges von Graniten.

Ein solcher hydrothermal Gang verläuft im Untergrund des Standortes Großschloppen und gibt - insbesondere über ihn begleitende Klüfte - das gasförmige Uranzerfallsprodukt Radon ab.

Auch Verwitterungsvorgänge können zu einer Anreicherung von Uran führen. Dabei geht 4-wertiges Uran (z.B. der Pechblende) bei Anwesenheit von  $\text{O}_2$  und  $\text{CO}_2$  durch Oxidation in 6-wertiges Uran über und bildet lösliche Salze (z.B. Karbonatkomplexe), die unter reduzierenden Bedingungen leicht wieder ausgefällt oder an kohligen Substanzen adsorbiert werden können. Im Falle Großschloppen würde das bedeuten, daß Uran auch durch wässrige Lösungen in der Fließerdeschicht angereichert worden sein könnte.



### 3.3 Planung und Durchführung der Untersuchungen

#### 3.3.1 Vorbereitende Informationsveranstaltung

Bereits im frühen Stadium der Untersuchungsvorbereitungen war erkennbar, daß die Bewohner von Großschloppen durch eine Reihe von Medienberichten verunsichert bzw. verärgert worden waren. Aus diesem Grunde erschien es ratsam, vor Beginn der Untersuchungen die Einwohner über die Zielsetzung und Untersuchungsmethodik des Forschungsvorhabens zu informieren.

Hierzu fand im Oktober 1987 in der Nähe von Großschloppen ein Informationsabend statt. Durch die dort gegebenen Informationen und die geführten Diskussionen wurde der Grundstein für eine gute Zusammenarbeit gelegt. Von wenigen Ausnahmen abgesehen zeigten sich die Bewohner sehr aufgeschlossen und kooperativ.

#### 3.3.2 Radonmessungen

Der Ablauf der Radonmessungen war folgendermaßen geplant: Sämtlichen Haushalten sollten zunächst zwei Aktivkohle-Dosimeter übergeben werden, die in zwei Aufenthaltsräumen nach Wahl der Bewohner drei Tage lang bei geschlossenen Fenstern exponiert werden sollten. In der zweiten Meßreihe sollte in denselben Räumen, diesmal jedoch bei üblicher Raumlüftung gemessen werden.

Diese Anforderung wurde leider nur von wenigen Beteiligten erfüllt. Oft wurden in der zweiten Meßreihe die Dosimeter in anderen Räumen, dabei z.T. auch in nicht bewohnten Keller-räumen, aufgestellt. Inwieweit die Messungen bei geschlossenen Fenstern bzw. bei üblicher Raumlüftung durchgeführt wurden, läßt sich im nachhinein nicht mehr feststellen.

#### 3.3.3 Bauaufnahmen

Die Bauaufnahmen wurden im Frühjahr und Sommer 1988, nachdem die erste Meßreihe vom ISH ausgewertet worden war, durchgeführt. Sie wurden dadurch erheblich erleichtert, daß die meisten Bewohner über die Bausubstanz und die im Laufe der Zeit vorgenommenen Umbauten sehr gut informiert waren und daher präzise Angaben liefern konnten.

Hinzu kommt, daß im Jahre 1980 im Auftrag des Betreibers des benachbarten Uranbergwerks von allen Häusern Bestandspläne angefertigt worden waren, die uns von den Hausbewohnern bzw. dem ausführenden Ingenieurbüro freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden.

### 3.4 Ergebnisse der Untersuchungen

Im folgenden werden die Ergebnisse der Bauaufnahmen sowie der Radonmessungen für jedes der untersuchten Häuser getrennt behandelt. Die Ergebnisse der geologischen Erhebungen werden gemeinsam in Abschnitt 3.5 vorgestellt.

Wegen der großen Fülle von Daten werden diese großteils in Tabellenform zusammengefaßt. Der Textteil wird bewußt kurz gehalten und beschränkt sich im wesentlichen auf die Interpretation der Meßwerte.

Von jedem Haus stehen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- fotografische Ansichten der Häuser,
- Ergebnisse der Radonmessungen in Tabellenform,
- Ergebnisse der Bauaufnahme in Tabellenform,

sowie in Teil 2 dieses Berichtes:

- Grundrisse der Geschosse im Maßstab 1 : 100,
- Schnittzeichnung im Maßstab 1 : 100.

### 3.4.1 Haus Nr. 02

Das genaue Baujahr dieses nicht unterkellerten Hauses ist unbekannt; zweifellos wurde das Gebäude vor 1900 erbaut. Im Jahre 1914 wurde auf das ursprünglich eingeschossige Haus ein Obergeschoß aufgestockt.



Bild 15: Standort A, Haus Nr. 02:  
Ansicht der Südwest- und Südostseite

Tabelle 4: Standort A, Haus Nr. 02:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer	2	20.11.-23.11.87	850 (± 20 %)
EG	Vorraum	4	20.11.-23.11.87	150 (± 20 %)
EG	Küche	3	15.01.-18.01.88	1400 (± 20 %)
EG	Hausflur	1	15.01.-18.01.88	580 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer	2	25.07.-28.07.87	30 (± 40 %)
EG	Küche	3	25.07.-28.07.87	270 (± 10 %)

Tabelle 5: Standort A, Haus Nr. 02:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Räume Nr. 1,4: Terrazzoplatten im Mörtelbett Beton Granitplatten Raum Nr. 2: PVC-Belag Zementestrich Schaumkunststoff Pappe Beton Raum Nr. 3: Holzfußboden (bzw. Terrazzo im Herdbereich) Lagerhölzer Pappe Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Trennwand zu Raum Nr. 8: Granitmauerwerk, beidseitig verputzt ansonsten: Mauerziegel, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Holzbalkendecke mit Blindboden und Schüttung, unterseitig verputzt, in Raum Nr. 1 und 2: zusätzliche Holzschalung an der Unterseite Stahlträgerdecke über Raum Nr. 7 Gewölbedecke über Raum Nr. 4 und 5
2.5	Fenster	Holzverbundfenster in Raum Nr. 3, ansonsten Kunststoff-Fenster, isolierverglast mit Gummilippendichtung
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Mauerziegel, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Mauerziegel, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzbalkendecke wie EG
3.4	Fenster	Holzverbundfenster in Raum Nr.4 und 8, ansonsten Kunststoff-Fenster, isolierverglast mit Gummilippendichtung
4	<b>Heizung</b>	Einzelofenheizung
5	<b>Baujahr</b>	vor 1900 erbaut, 1914 Aufstockung OG

Bei den ersten beiden Meßreihen, die während der Wintermonate liefen, wurden in den EG-Räumen Nr. 1 bis 4 Radonkonzentrationen zwischen 150 und 1400 Bq/m<sup>3</sup> festgestellt. Dabei zeigten Vorraum (4) und Hausflur (1) deutlich geringere Werte als Küche (3) und Wohnzimmer (2). Ursache hierfür dürfte eine höhere Lüftungsrate in den Räumen (1) und (4) sein.

Die in der Küche (3) gemessene Konzentration ist mit 1400 Bq/m<sup>3</sup> deutlich größer als im benachbarten Wohnzimmer (2) mit 850 Bq/m<sup>3</sup>. Aus den Ergebnissen der Bauaufnahme lassen sich diese Unterschiede nicht ohne weiteres erklären, denn beide Räume weisen im Fußbodenaufbau eine Betonplatte auf. Möglicherweise liegt der Grund in einer unzureichenden Lüftung der Küche (3). Von Bewohnern anderer Häuser war anlässlich der Ortsbegehungen zu hören, daß sie - um eine Belästigung durch Fliegen, Mücken usw. zu vermeiden - die Küchenfenster nach Möglichkeit geschlossen halten.

Die im Sommer durchgeführte dritte Meßreihe erbrachte deutlich geringere Werte als im Winter, was auf die stärkere Lüftung der Räume zurückzuführen ist: So betrug die Konzentration im Wohnzimmer (2) lediglich 30 Bq/m<sup>3</sup> gegenüber 850 Bq/m<sup>3</sup> bzw. in der Küche (3) 270 Bq/m<sup>3</sup> gegenüber 1400 Bq/m<sup>3</sup>.

### 3.4.2 Haus Nr. 03

Dieses Gebäude wurde 1981 erbaut und im Jahre 1982 bezogen. Das Haus ist voll unterkellert. Mit 52 bzw. 76 Bq/m<sup>3</sup> weist dieses Haus die geringsten Radonkonzentrationen in Großschluppen auf.



Bild 16: Standort A, Haus Nr. 03:  
Ansicht der Südwest- und Südostseite

Tabelle 6: Standort A, Haus Nr. 03  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer		17.11.-19.11.88	52 (± 20 %)
EG	Schlafzimmer		17.11.-19.11.88	76 (± 20 %)

Tabelle 7: Standort A, Haus Nr. 03:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	voll unterkellert
1.1	Fußboden	Textilbelag bzw. Fliesen Estrich Abdichtung Beton
1.2	Außenwände	Beton
1.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	PVC- bzw. Textil- bzw. Fliesenbelag Estrich Dämmschicht Massivdecke Anstrich
2.2	Außenwände	Poroton-Ziegel, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	wie 2.1, jedoch unterseitig mit Holzdecke bzw. Tapete und Anstrich
2.5	Fenster	Holzfenster, isolierverglast mit Gummilippendichtung
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Giebelwände aus Porotonziegeln, beidseitig verputzt Dachkonstruktion aus Holz
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzbalkendecke
3.4	Fenster	siehe 2.5
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung + Fußbodenheizung über Wärmepumpe (Nutzung der Stallwärme)
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1981

### 3.4.3 Haus Nr. 04

Das ursprüngliche Gebäude wurde 1826 erbaut. Die Grenzen des Altbaus sind im Grundriß an der Dicke des verwendeten Granitmauerwerks zu erkennen. Etwa 1975 wurde ein Anbau errichtet, der im Erdgeschoß die Wohnküche (2) und die Speisekammer (1) umfaßt.

Das Kellergeschoß verfügt über drei zusammenhängende, heute nicht mehr genutzte Gewölbekeller; von ihnen befindet sich der vordere (1) genau unter Raum (3) des EG; die beiden übrigen Keller (2) und (3) liegen außerhalb des Gebäudes.

Der vordere Gewölbekeller (1) kann über eine Bodenluke in der Diele (5) vom EG aus betreten werden. Ein weiterer Ausgang befand sich früher am Ende von Keller (3); er mündete direkt im Freien und war mit einer Stahltür verschlossen. Zwischenzeitlich wurde dieser Ausgang von den Hausbewohnern mit Erdreich zugeschüttet.

Das Wohnzimmer (4) im EG war im Jahre 1986 saniert worden. Die Planung und Überwachung der Arbeiten wurden damals vonseiten der LGA, die Radonmessungen vom ISH durchgeführt.

Im Zuge dieser Sanierung wurde zunächst der ursprüngliche Fußbodenbelag entfernt (siehe Bild 17). Auf den vorhandenen Estrich wurden zweilagig Bitumen-Schweißbahnen mit Metallfolieneinlage, darauf eine Vlieseinlage und abschließend ein Parkettboden verlegt. Durch diese Maßnahme konnte die ursprünglich vorhandene Radonkonzentration auf etwa ein Drittel reduziert werden.

Vermutlich wäre der Sanierungserfolg noch größer gewesen, wenn der vorhandene schwimmende Estrich entfernt und die Oberseite der Betonplatte, insbesondere im Wandanschlußbereich, neu abgedichtet worden wäre; dies scheiterte jedoch am Widerstand der Hausbewohner.

Tabelle 8: Standort A, Haus Nr. 04:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer	4	17.11.-19.11.87	910 (± 20 %)
KG	Gewölbekeller	1	17.11.-19.11.87	3200 (± 20 %)
EG	Arbeitszimmer	3	09.01.-12.01.88	1250 (± 20 %)
EG	Küche	2	09.01.-12.01.88	640 (± 20 %)
EG	Arbeitszimmer	3	25.07.-28.07.88	850 (± 10 %)
EG	Küche	2	25.07.-28.07.88	430 (± 10 %)



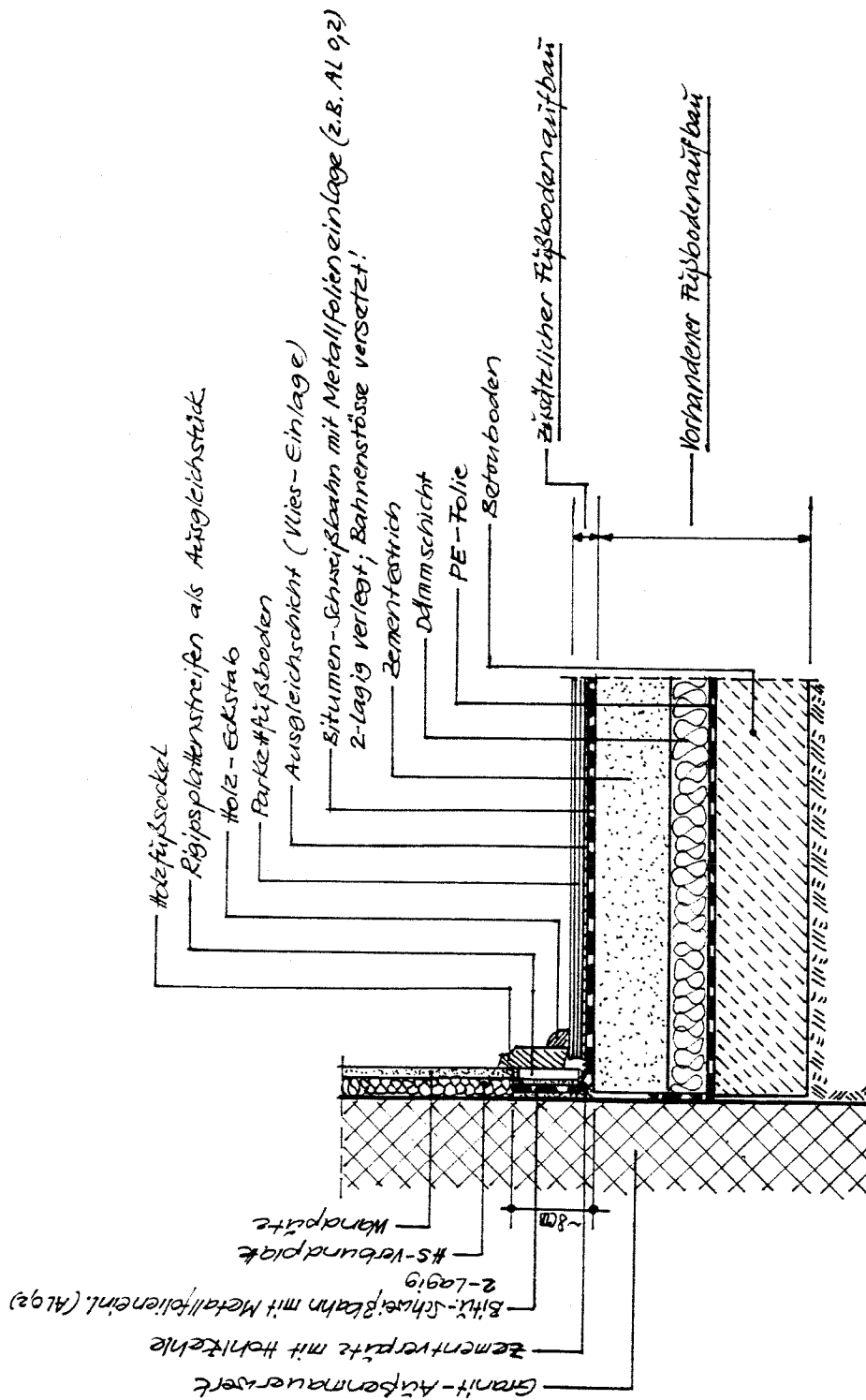


Bild 17: Standort A, Haus Nr. 4:  
Fußbodenaufbau (Raum Nr. 4 im Erdgeschoß)  
vor bzw. nach der Sanierung im Jahre 1986

Tabelle 9: Standort A, Haus Nr. 04:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau		
<b>1</b>	<b>Keller</b>	teilweise unterkellert		
1.1	Fußboden	anstehendes Erdreich		
1.2	Außenwände	Granitmauerwerk, nicht verputzt		
1.3	Innenwände	entfällt		
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>			
2.1	Fußboden	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Raum Nr. 1 bis 3:  PVC-Belag  Estrich  Dämmschicht  Betonboden </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Raum Nr. 4:  Holzparkett  Abdichtung  Estrich  Dämmschicht  Abdichtung  Betonboden </td> </tr> </table> Raum Nr. 5 bis 7: wie Nr. 1 bis 3, jedoch Fliesenbelag	Raum Nr. 1 bis 3: PVC-Belag Estrich Dämmschicht Betonboden	Raum Nr. 4: Holzparkett Abdichtung Estrich Dämmschicht Abdichtung Betonboden
Raum Nr. 1 bis 3: PVC-Belag Estrich Dämmschicht Betonboden	Raum Nr. 4: Holzparkett Abdichtung Estrich Dämmschicht Abdichtung Betonboden			
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt (Altbau) Ziegelmauerwerk, zweischalig, mit zwischenliegender Dämmschicht, beidseitig verputzt (Neubau)		
2.3	Innenwände	Granit- bzw. Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt Wand zwischen (2) und (3): Granit- mit vorgeblendetem Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt		
2.4	Decke	Holzbalkendecke (Altbau) Stahlbetondecke (Neubau)		
2.5	Fenster	Holzverbundfenster (Altbau) Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung (Neubau)		
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>			
3.1	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt		
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt		
3.3	Decke	Holzbalkendecke		
3.4	Fenster	siehe 2.5		
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung mit Wärmetauscher (Nutzung der Stallwärme) zusätzlich im EG: Kachelofen in (4) und Herdofen in (2)		
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1826, etwa 1975 Anbau		

Die Ergebnisse der Radonmessungen (siehe Tabelle 8) erbrachten folgenden Zusammenhang:

Im Gewölbekeller wurde mit  $3200 \text{ Bq/m}^3$  der höchste Radonwert für dieses Haus ermittelt. Zum Zeitpunkt der Messung war der Außeneingang des Kellers (3) bereits zugeschüttet, wodurch die Belüftung aller Kellerräume deutlich verringert worden sein dürfte.

Der über Keller (1) liegende EG-Raum (3) und das benachbarte Wohnzimmer (4), beide im Altbau gelegen, wiesen die nächsthöheren Konzentrationen ( $880$  bzw.  $1250 \text{ Bq/m}^3$ ) auf. Im anschließenden Neubautrakt wurden in der Küche (2) nochmals geringere Werte ( $430$  bzw.  $640 \text{ Bq/m}^3$ ) ermittelt.

Diese Ergebnisse lassen sich folgendermaßen interpretieren:

Wie bereits in Abschnitt 3.2 beschrieben und aus Bild 12 ersichtlich, liegt Haus Nr. 04 direkt auf einer geologischen Störung in Form eines Quarzganges. Dieser gibt Radon ab, das praktisch ungehindert - der Fußboden im Keller besteht aus dem anstehenden Erdreich - in den Keller eindringen und sich dort ansammeln kann.

Vom Keller aus dringt das Radon in die EG-Räume, insbesondere in den darüberliegenden Raum (3) ein. Raum (2) zeigt für einen Neubau relativ hohe Werte. Mögliche Ursachen hierfür sind sowohl in den individuellen Lüftungsgewohnheiten (Küche!), aber auch in der Tatsache begründet, daß die Küche (2) über eine Zwischentür direkt mit dem stärker belasteten Raum (3) verbunden ist.



Bild 18: Standort A, Haus Nr. 04:  
Ansicht der Nordwestseite

### 3.4.4 Haus Nr. 06

1790 als eingeschossiges Gebäude errichtet; es wurde in den Jahren 1954 bis 1958 das OG aufgestockt. Das Haus ist nicht unterkellert.

Der Fußbodenaufbau in den Räumen (5) und (6) des Erdgeschosses weist eine Besonderheit auf: Unter den Fußbodenbelägen befindet sich ein Bretterboden auf Holzbalken, die direkt auf dem anstehenden Erdreich ohne Abdichtung verlegt sind. Bei den übrigen Räumen wurde nachträglich eine Betonbodenplatte eingebaut.



Bild 19: Standort A, Haus Nr. 06:  
Ansicht der Südostseite

Tabelle 10: Standort A, Haus Nr. 06  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Küche	5	17.11.-19.11.87	2100 (± 20 %)
OG	Kinderzimmer	3	17.11.-19.11.87	1400 (± 20 %)
EG	Küche	5	25.07.-28.07.88	560 (± 10 %)
OG	Kinderzimmer	3	25.07.-28.07.88	170 (± 20 %)
EG	Küche	5	02.09.-05.09.88	730 (± 10 %)
OG	Kinderzimmer	3	02.09.-05.09.88	430 (± 10 %)

Tabelle 11: Standort A, Haus Nr. 06  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 1 bis 4: Fliesenbelag Betonboden  Raum Nr. 5: PVC-Belag Bretterboden Holzbalken über Erdreich  Raum Nr. 6: Textilbelag Bretterboden Holzbalken über Erdreich  Raum Nr. 7: Beschichtung Betonboden mit Glattstrich
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt im Gewölberaum (7): Granit mit innen- seitig vorgeblendetem HLz-Mauerwerk, dazwischen Hohlraum, beidseitig ver- putzt
2.3	Innenwände	Granit- und Ziegelmauerwerk, beidsei- tig verputzt
2.4	Decke	Holzfußboden Holzlager Massiv- bzw. Gewölbedecke
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk
3.3	Decke	teilweise PVC-Belag Bretterboden Holzbalkendecke mit Füllung über Blindboden
3.4	Fenster	Holzfenster, einfach verglast
4	<b>Heizung</b>	Einzelofen-Heizung
5	<b>Baujahr</b>	1790, 1954 - 58 Aufstockung des OG

Die hohe Radonkonzentration von  $2100 \text{ Bq/m}^3$  (siehe Tabelle 10) in Raum (5) des EG wird entscheidend durch den vorhandenen Fußbodenaufbau verursacht, der keinerlei Abdichtung gegenüber dem Erdreich aufweist. Auffallend hoch liegt der Wert für Raum (3) des OG.

Vergleicht man die Ergebnisse der ersten beiden Meßreihen, so läßt sich sehr gut der Einfluß der Lüftung auf die Radonkonzentration erkennen: Die Werte liegen im Sommer infolge stärkerer Raumlüftung deutlich niedriger als während der Wintermonate.

### 3.4.5 Haus Nr. 08

Dieses nicht unterkellerte Haus wurde 1767 erbaut. Im Jahre 1953 wurde das Obergeschoß aufgestockt.



Bild 20: Standort A, Haus Nr. 08:  
Ansicht der Südostseite

Tabelle 12: Standort A, Haus Nr. 08:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in $\text{Bq/m}^3$
EG	Wohnzimmer	2	20.11.-23.11.87	390 ( $\pm 20 \%$ )
OG	Schlafzimmer		20.11.-23.11.87	150 ( $\pm 20 \%$ )
EG	Wohnzimmer	2	09.01.-12.01.88	390 ( $\pm 20 \%$ )
OG	Schlafzimmer		09.01.-12.01.88	110 ( $\pm 20 \%$ )

Tabelle 13: Standort A, Haus Nr. 08:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 2: Textilbelag PVC-Belag Gußasphalt-Estrich Betonboden übrige Räume: PVC-Belag Terrazzofliesen bzw. Estrich Betonboden
2.2	Außenwände	größtenteils Granitmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke Hourdisdecke, unterseitig verputzt
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Bimsmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke mit Schlackefüllung Blindboden
3.4	Fenster	Holzfenster, einfach verglast
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1767, 1953 Aufstockung des OG

### 3.4.6 Haus Nr. 10

Das genaue Baujahr dieses Hauses ist nicht mehr bekannt; es wurde jedoch ohne Zweifel vor 1900 erbaut. 1955 wurde das Obergeschoß aufgestockt. Das Haus ist nicht unterkellert.



Bild 21: Standort A, Haus Nr. 10:  
Ansicht der Südostseite

Tabelle 14: Standort A, Haus Nr. 10:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer	2	20.11.-23.11.87	180 (± 20 %)
EG	Küche	3	20.11.-23.11.87	100 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer	2	14.01.-17.01.88	310 (± 20 %)
EG	Küche	3	14.01.-17.01.88	310 (± 20 %)



Tabelle 15: Standort A, Haus Nr. 10:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 1 und 5: Terrazzofliesen Estrich Betonboden sonstige Räume: PVC-Belag Estrich Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt Küche (Nordwand) und Diele: Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Granit- und Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	über Wohnteil: Textilbelag Holzfußboden bzw. Spanplatten Holzbalkendecke mit Füllung Blindboden, unterseitig verputzt  über Stall: Textilbelag Bretterboden Holzlager Montagedecke mit Aufbeton
2.5	Fenster	Holzverbundfenster (Küche) Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung (Wohnzimmer)
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzfußboden
3.4	Fenster	Holzbalkendecke, unterseitig verputzt Holzfenster, einfach verglast
4	<b>Heizung</b>	Elektro-Nachtspeicherofen (Wohnzimmer) Einzelofen (Küche) Elektro-Heizlüfter (OG)
5	<b>Baujahr</b>	vor 1900, 1955 Aufstockung des OG

### 3.4.7 Haus Nr. 11/12

Das ursprünglich vorhandene Gebäude wurde vor 1900 erbaut. Im Jahre 1923 wurde das Haus mit Ausnahme von zwei Außenwänden an der Nord- und Ostseite abgerissen und neu errichtet.



Bild 22: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
Ansicht der Südost- und Nordostseite

Tabelle 16: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Eßzimmer	3	16.11.-19.11.87	460 (± 20 %)
OG	Schlafzimmer		16.11.-19.11.87	160 (± 20 %)
EG	WC		10.01.-12.01.88	60 (± 20 %)
OG	WC		10.01.-12.01.88	240 (± 20 %)

Tabelle 17: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 2: Textilbelag Bretterboden Holzlager Betonboden sonstige Räume: PVC-Belag bzw. Fliesen Estrich Dämmschicht Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, innenseitig mit Mauerziegeln vorgeblendet, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	PVC- bzw. Textilbelag Bretterfußboden Holzbalkendecke mit Füllung Blindboden, unterseitig verputzt bzw. Gipskartonplatten teilweise Holzschalung mit Dämmung
2.5	Fenster	Holzverbundfenster im Eßzimmer (Nordseite): Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	siehe 2.2
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke, unterseitig verputzt bzw. teilweise Holzschalung
3.4	Fenster	Holzverbundfenster
4	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung
5	<b>Baujahr</b>	vor 1900 erbaut, 1923 mit Ausnahme von 2 Außenwänden (Nord-, Ostseite) abgerissen und neu errichtet

### 3.4.8 Haus Nr. 13

Dieses Haus wurde 1953 anstelle eines alten abgerissenen Gebäudes errichtet. 1975 wurde das angrenzende Stallgebäude im Erdgeschoß als Wohnung umgebaut.



Bild 23: Standort A, Haus Nr. 13:  
Ansicht der Nordost- und Südostseite

Tabelle 18: Standort A, Haus Nr. 13  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Küche (Alt)	2	17.11.-19.11.87	780 (± 20 %)
EG	Eßzimmer (Neu)	16	17.11.-19.11.87	120 (± 20 %)
EG	Küche (Alt)	2	09.01.-12.01.88	410 (± 20 %)
EG	Eßzimmer (Neu)	16	09.01.-12.01.88	370 (± 20 %)

Tabelle 19: Standort A, Haus Nr. 13 (Altbau):  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Bretterboden bzw. Fliesen Holzlager Betonboden
2.2	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Bretterboden Holzbalkendecke Blindboden, unterseitig verputzt
2.5	Fenster	Holzfenster, einfach verglast mit Vorfenstern
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzbalkendecke, unterseitig verputzt
3.4	Fenster	Holzfenster, einfach verglast
4	<b>Heizung</b>	Einzelofen-Heizung
5	<b>Baujahr</b>	1953

Tabelle 20: Standort A, Haus Nr. 13 (Neubau):  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Parkett bzw. PVC-Belag Gußasphalt Betonboden
2.2	Außenwände	Giebelwände: Granitmauerwerk, innen- seitig mit 17,5 cm HLz vorgemauert, beidseitig verputzt Längswände: zweischaliges Ziegelmauer- werk (2*17,5) mit zwischenliegender Mineralwolle-Dämmung
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Massivdecke (ursprüngliche Stalldecke) Dämmschicht (Mineralwolle) Holzschalung bzw. Gipskartonplatten
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung
3	<b>Obergeschoß</b>	= früherer Lagerraum (Heu, Stroh), wird nicht zu Wohnzwecken benutzt
3.1	Außenwände	entfällt
3.2	Innenwände	entfällt
3.3	Decke	entfällt
3.4	Fenster	entfällt
4	<b>Heizung</b>	Elektro-Nachtspeicheröfen
5	<b>Baujahr</b>	ehemaliger Stall, 1975 ausgebaut

### 3.4.9 Haus Nr. 15

Haus Nr. 15 wurde 1729 erbaut. Im Jahre 1952 wurde das Obergeschoß aufgestockt. Das Gebäude ist nicht unterkellert.



Bild 24: Standort A, Haus Nr. 15:  
Ansicht der Südost- und Nordostseite

Tabelle 21: Standort A, Haus Nr. 15:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Küche	3	20.11.-23.11.87	230 (± 20 %)
OG	Schlafzimmer	6	20.11.-23.11.87	520 (± 20 %)
EG	Küche	3	14.01.-17.01.88	280 (± 20 %)
OG	Schlafzimmer	6	14.01.-17.01.88	200 (± 20 %)
EG	Küche	3	25.07.-28.07.88	50 (± 20 %)
OG	Schlafzimmer	6	25.07.-28.07.88	90 (± 20 %)

Tabelle 22: Standort A, Haus Nr. 15:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 2: Holzparkettboden Holzlager mit zwischenliegender Mineralwolle Pappe Betonboden  sonstige Räume: Terrazzofliesen Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, innenseitig teilweise mit Mauerziegeln vorgeblendet, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Granit- und Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	über Wohnteil: Holzfußboden Holzbalkendecke mit Schüttung Blindboden, unterseitig verputzt  über Stall: teilweise PVC-Belag Holzfußboden Beton (neu) Gewölbedecke, unterseitig verputzt
2.5	Fenster	Holzverbundfenster (Wohnzimmer) Holzfenster, einfach verglast
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Bimshohlblock-Mauerwerk, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Mauerziegel, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke, unterseitig verputzt
3.4	Fenster	Holzschalung Holzfenster, einfach verglast
4	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung (wird vom Küchenofen aus gespeist)
5	<b>Baujahr</b>	1729, 1953 Aufstockung des EG



### 3.4.10 Haus Nr. 16

Dieses Haus besteht aus einem vor 1900 errichteten Altbau und dem daran angrenzenden Neubau, der 1972 erbaut wurde. Das Gebäude ist nur im neueren Teil unterkellert.



Bild 25: Standort A: Haus Nr. 16:  
Ansicht der Südwestseite

Tabelle 23: Standort A, Haus Nr. 16:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer(Alt)	2	20.11.-23.11.87	420 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer(Neu)	7	20.11.-23.11.87	130 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer(Alt)	2	14.01.-18.01.88	460 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer(Neu)	7	14.01.-18.01.88	450 (± 20 %)

Tabelle 24: Standort A, Haus Nr. 16 (Altbau):  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	<b>Keller</b>	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	PVC-Belag bzw. Fliesen Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Granit- und Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke Blindboden, unterseitig verputzt
2.5	Fenster	Holzfenster, einfach verglast
3	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Fachwerk, mit rauhen Steinen ausgemauert, beidseitig verputzt
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	siehe 2.4
3.4	Fenster	Holzfenster, einfach verglast
4	<b>Heizung</b>	Einzelofen-Heizung, zusätzlich Heizkörper (vom Neubau aus beheizt)
5	<b>Baujahr</b>	vor 1900

Tabelle 25: Standort A, Haus Nr. 16 (Neubau):  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	voll unterkellert
1.1	Fußboden	Betonboden mit Glatt- bzw. Rauhstrich
1.2	Außenwände	Betonhohlkörpersteine, beidseitig verputzt, außenseitig Bitumenanstrich
1.3	Innenwände	Betonhohlkörpersteine, beidseitig verputzt
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	PVC-Belag bzw. Fliesen Estrich Dämmschicht (Polystyrol) Betonboden
2.2	Außenwände	Bimshohlblock-Mauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	PVC- bzw. Fliesenbelag Estrich Dämmschicht (Polystyrol) Massivdecke
2.5	Fenster	Holzverbundfenster
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	siehe 2.2
3.2	Innenwände	siehe 2.3
3.3	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke Blindboden, unterseitig verputzt
3.4	Fenster	Holzverbundfenster
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1972 an bestehenden Altbau angebaut

### 3.4.11 Haus Nr. 17

Dieses Gebäude wurde 1910 erbaut. Etwa im Jahre 1973 wurde das Haus im Bereich des Wohnzimmers umgebaut.



Bild 26: Standort A, Haus Nr. 17:  
Ansicht der Südostseite

Tabelle 26: Standort A, Haus Nr. 17:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	Wohnzimmer (alt)	2	23.11.-26.11.87	2200 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer (neu)	8	23.11.-26.11.87	740 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer (alt)	2	15.01.-18.01.88	2600 (± 20 %)
EG	Wohnzimmer (neu)	8	15.01.-18.01.88	1000 (± 20 %)
EG	Küche	4	25.07.-28.07.88	3300 (± 5 %)
EG	Wohnzimmer (alt)	2	25.07.-28.07.88	2000 (± 10 %)

Tabelle 27: Standort A, Haus Nr. 17:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
1	Keller	nicht unterkellert
1.1	Fußboden	entfällt
1.2	Außenwände	entfällt
1.3	Innenwände	entfällt
2	Erdgeschoß	
2.1	Fußboden	Raum Nr. 1 bis 4: Holzfußboden Holzlager mit Schüttung Raum Nr. 8: Holzparkett Gußasphalt Betonboden  in Raum Nr. 3 im Kochbereich: Terrazzofliesen Betonboden  Raum Nr. 5 bis 7: Fliesen Betonboden
2.2	Außenwände	Granitmauerwerk, innenseitig groß- teils mit HLz vorgeblendet, Trenn- wand Wohnzimmer-Scheune mit zwischen- liegender Mineralwolle, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	über Altbereich: Holzfußboden Holzbalkendecke mit Schüttung Blindboden, unterseitig verputzt  über Neubereich: PVC- bzw. Textilbelag Gußasphalt Montagedecke (Hohlkörper-) Holzschalung
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung in Raum Nr. 2: Holzverbundfenster

Fortsetzung von Tabelle 27:

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	siehe 2.2
3.2	Innenwände	siehe 2.3
3.3	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke mit Mineralwolle- Einlage, unterseitig verputzt bzw. Gipskartonplatten
3.4	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast mit Gummilippendichtung
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Elektro-Nachtspeicheröfen und Einzelöfen
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1910; Umbau im Wohnzimmerbereich (8) etwa 1973

Haus Nr. 17 zählt zu den wenigen Gebäuden, bei denen in Teilbereichen keine Betonbodenplatte vorhanden ist. Demzufolge wurden bei den Radonmessungen sehr hohe Konzentrationen ermittelt. Wegen der hohen Belastung wird für dieses Haus in Abschnitt 5.3 ein Sanierungsvorschlag unterbreitet.

### 3.4.12 Haus Nr. 22

Haus Nr. 22 wurde ungefähr zwischen 1910 und 1920 erbaut. Etwa 1968 wurde an der Ostecke ein kleiner Anbau erstellt. Das Haus ist teilweise unterkellert; es steht an der Südecke direkt auf dem anstehenden Fels.



Bild 27: Standort A, Haus Nr. 22:  
Ansicht der Nordwest- und Südwestseite

Tabelle 28: Standort A, Haus Nr. 22:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
EG	-	-	23.11.-26.11.87	320 (± 20 %)
OG	-	-	23.11.-26.11.87	70 (± 20 %)

Tabelle 29: Standort A, Haus Nr. 22:  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	teilweise unterkellert
1.1	Fußboden	Betonboden mit Glattstrich
1.2	Außenwände	Granitmauerwerk, beidseitig verputzt
1.3	Innenwände	Granit- und Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Textilbelag Estrich Dämmschicht Pappe
2.2	Außenwände	Betonboden bzw. Massivdecke Granit- bzw. Ziegelmauerwerk (Anbau), beidseitig verputzt außenliegende Mineralwolle-Dämmung Verkleidung: Asbestzement-Platten
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	PVC-Belag Holzfußboden bzw. Spanplatten Holzbalkendecke, unterseitig verputzt abgehängte Deckenpaneele
		Anbau: PVC-, Fliesen- bzw. Textilbelag Estrich Massivdecke
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung teilweise Holzverbundfenster
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt außenliegende Mineralwolle-Dämmung Verkleidung: Asbestzement-Platten
3.2	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
3.3	Decke	Textilbelag Spanplatten Holzbalkendecke mit Dämmung Blindboden, unterseitig verputzt teilweise Holzpaneeldecken
3.4	Fenster	siehe 2.5
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Warmwasser-Zentralheizung
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	zwischen 1910 und 1920



### 3.4.13 Haus Nr. 25

Haus Nr. 25 besteht aus einem älteren, im Jahre 1963 errichteten Gebäude und einem neueren Bau aus dem Jahre 1984. Sowohl der ältere als auch der neuere Teil sind voll unterkellert.



Bild 28: Standort A, Haus Nr. 25:  
Ansicht der Nordostseite

Tabelle 30: Standort A, Haus Nr. 25:  
Ergebnisse der Radonmessungen

Geschoß	Raum	Raum-Nr. lt. Plan	Expositionszeit von - bis	Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup>
OG (Neu)	Kinderzimmer		23.11.-26.11.87	30 (± 30 %)
EG (Alt)	Kinderzimmer		23.11.-26.11.87	64 (± 20 %)
OG (Neu)	Kinderzimmer		15.01.-18.01.88	60 (± 20 %)
EG (Alt)	Kinderzimmer		15.01.-18.01.88	60 (± 20 %)

Tabelle 31: Standort A, Haus Nr. 25 (Altbau):  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	voll unterkellert
1.1	Fußboden	Betonboden
1.2	Außenwände	Betonhohlblocksteine, beidseitig verputzt, außenseitig Bitumenanstrich
1.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	PVC-Belag Gußasphalt Montagedecke (Spannbeton-Hohlkörper)
2.2	Außenwände	Bimshohlblocksteine, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Bretterbelag Holzbalkendecke, unterseitig verputzt bzw. Holzschalung
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung und Holzverbundfenster
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	siehe 2.2
3.2	Innenwände	siehe 2.3
3.3	Decke	siehe 2.4
3.4	Fenster	siehe 2.5
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Einzelofenheizung
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1963

Tabelle 32: Standort A, Haus Nr. 25 (Neubau)  
Ergebnisse der Bauaufnahme

lfd. Nr.	Geschoß bzw. Bauteil	Aufbau
<b>1</b>	<b>Keller</b>	voll unterkellert
1.1	Fußboden	Betonboden
1.2	Außenwände	Beton-Hohlblocksteine, beidseitig verputzt, außenseitig Bitumenanstrich
1.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
<b>2</b>	<b>Erdgeschoß</b>	
2.1	Fußboden	Bretterboden Holzlager, teilweise mit Polystyrol bzw. Mineralwolle Massivdecke, unterseitig verputzt bzw. Holzschalung
2.2	Außenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.3	Innenwände	Ziegelmauerwerk, beidseitig verputzt
2.4	Decke	Holzfußboden Holzbalkendecke, unterseitig verputzt bzw. Holzschalung
2.5	Fenster	Kunststoff-Fenster, isolierverglast, mit Gummilippendichtung
<b>3</b>	<b>Obergeschoß</b>	
3.1	Außenwände	siehe 2.2
3.2	Innenwände	siehe 2.3
3.3	Decke	Massivdecke
3.4	Fenster	siehe 2.5
<b>4</b>	<b>Heizung</b>	Einzelofen-Heizung
<b>5</b>	<b>Baujahr</b>	1984

### 3.5 Geologische Untersuchungen

Die durchgeführten Untersuchungen erfolgten im Hinblick auf die Sanierung von besonders stark belasteten Gebäuden; sie konzentrieren sich daher auf Feststellungen zur Gasdurchlässigkeit.

#### 3.5.1 Bohrungen

Zur Feststellung der Gasdurchlässigkeit der Deckschichten wurden von Mitarbeitern des Grundbauinstitutes der LGA neben den drei am stärksten belasteten Wohnhäusern Rammbohrungen mit durchgehendem Kerngewinn bis zum anstehenden Fels abgeteuft. Dabei wurden die in Tabelle 33 dargestellten Bodenprofile aufgenommen.

Tabelle 33: Bodenprofile

Bohrung Nr.	Tiefe in m	Beschreibung
1	0,00 - 0,10	Mutterboden; Sand, stark tonig, schwach feinkiesig; dunkelbraun
	0,10 - 0,40	Auffüllung; Sand, kiesig, steinig, schwach schluffig, Ziegelreste; braun
	0,40 - 0,95	Fließerde; Ton, stark schluffig, feinsandig, schwach kiesig; halbfest, braun
	0,95 - 1,05	Fließerde; wie oben, jedoch hellbraun
	1,05 - 2,00	Granitzersatz; Sand, stark tonig; gelbbraun
2	0,00 - 0,20	Mutterboden; Schluff, schwach tonig und sandig; steif, dunkelbraun
	0,20 - 0,40	Fließerde; Schluff, tonig, sandig, kiesig; steif, gelbbraun
	0,40 - 1,00	Granitzersatz; Sand, stark schluffig, kiesig, schwach tonig; gelbbraun
3	0,00 - 0,30	Mutterboden; Schluff, stark sandig, tonig, schwach feinkiesig; steif dunkelbraun
	0,30 - 1,00	Fließerde; Schluff, stark sandig, grobkiesig, schwach tonig; halbfest, braun
	1,00 - 2,00	Granitzersatz; Sand, stark schluffig, schwach tonig; gelbbraun
Bohrung 1: bei Haus Nr. 04 Bohrung 2: bei Haus Nr. 17 Bohrung 3: bei Haus Nr. 06		

### 3.5.2 Laborversuche

Die gewonnenen Bohrkern wurden im Labor hinsichtlich ihrer Gasdurchlässigkeit bzw. Permeabilität weiter untersucht, mit dem Ziel, die pro Zeiteinheit durchströmende Luftmenge für einen definierten Bodenquerschnitt zu ermitteln. Hierzu kam ein Permeabilitätsmeßgerät der Fa. ECS-Meßtechnik, Nordhorn, zum Einsatz.

Zur Messung wird ein zylindrischer Probekörper in einer Meßzelle zwischen zwei Druckstempel eingebaut und mit einem druckfesten Gummistrumpf umgeben. Zur Messung wird in der Meßzelle zunächst pneumatisch ein Umgebungsdruck erzeugt, der den Umschließungsdruck im Untergrund simuliert. Anschließend erfolgt die Durchströmung der Zylinderprobe über die angepreßten Stempel. Der austretende Fließstrom wird gemessen. Generell kann angenommen werden, daß in Böden die Luftdurchlässigkeitsbeiwerte  $K_a$  um etwa das 70-fache über den Wasserdurchlässigkeitsbeiwerten liegen.

Für die Fließerden wurden an 4 Versuchsproben Luftdurchlässigkeitsbeiwerte  $K_a$  zwischen  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s und  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s ermittelt. Im Granitzersatz ergaben sich Luftdurchlässigkeitsbeiwerte von  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s und  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Nach bisher durchgeführten Versuchen - von allerdings geringer Anzahl - liegen die Luftdurchlässigkeitsbeiwerte von Fließerden und Granitzersatz im Mittel in der gleichen Größenordnung. Es handelt sich um mittlere Luftdurchlässigkeiten des untersuchten Bodens. Die Einzelergebnisse können der nachfolgenden Tabelle 34 entnommen werden.

Tabelle 34: Luftdurchlässigkeitsbeiwerte von Deckböden

Bohrung Nr.	Tiefe in m	Bodenart	Luftdurchlässigkeitsbeiwert $K_a$ in m/s
1	0,00 - 0,10	Granitzersatz	$4,7 \cdot 10^{-4}$
2	0,39 - 0,46	Fließerde	$5,5 \cdot 10^{-4}$
	0,68 - 0,75	Granitzersatz	$1,5 \cdot 10^{-3}$
3	0,58 - 0,65	Fließerde	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	0,65 - 0,72	Fließerde	$6,5 \cdot 10^{-4}$
	0,72 - 0,79	Fließerde	$3,6 \cdot 10^{-4}$

### 3.5.3 Folgerungen

Durch Literaturarbeit, Ortsbegehungen, Bohrungen und Laborversuche konnten Erkenntnisse über anstehende Gesteine und Böden im Raum Großschloppen gewonnen werden, die einen Schluß auf vorhandene natürliche Strahlungsquellen, Bodenaufbau und Gasdurchlässigkeit der Deckschichten zulassen. Auf dieser Grundlage ist eine Abschätzung der Erfolgchancen von Sanierungsmaßnahmen möglich.

#### 3.5.3.1 Strahlungsquellen

Die Suche nach uranhaltigen Materialien, die für die Abgabe von Radon verantwortlich sind, erbrachte - nach ihrer Bedeutung aufgereiht - folgende vier Strahlungsquellen:

- a) Ein hydrothermaler Quarzgang, der vermutlich im Gefolge der jüngsten Granit-Intrusion ( $G_3$ ) angelegt wurde und der die höchsten Urangehalte aufweist (Versuchsabbau), verläuft im Untergrund der Ortschaft Großschloppen in Nordwest-Südost-Richtung (siehe Bild 12). Das Einfallen dieser ursprünglichen Störungszone nach Nordosten läßt vom Gang ausgehend in Richtung Nordosten die stärkste Radon-Exhalation erwarten, wobei die Migration des Gases insbesondere über Kluftflächen verlaufen dürfte.
- b) Den natürlichen Untergrund von Großschloppen bildet im Südostteil der weniger radioaktive  $G_1$ -Granit. Ein Großteil der Ortschaft dürfte zudem auf ordovizischen Glimmerschiefern angelegt sein, für die im allgemeinen relativ hohe Strahlungsspiegel gemessen wurden, so daß auch hier mit leicht erhöhter Radioaktivität zu rechnen ist. Radon kann in den durch die starke tektonische Beanspruchung stark geklüfteten Glimmerschiefern relativ gut migrieren und so an die Erdoberfläche gelangen.
- c) Der ebenfalls durch deutlich erhöhte Urangehalte aufgefallene Kerngranit ( $G_3$ ) bildete in vergangener Zeit das bevorzugte Baumaterial der Gegend, was die zahlreichen darin angelegten Steinbrüche beweisen. Da die radioaktiven Substanzen jedoch nicht homogen im Gestein verteilt vorliegen, könnte in Einzelfällen mit einer vom Mauerwerk ausgehenden - eher geringen - Radonbelastung gerechnet werden. Eine systematische Erfassung dieses Faktors kann zunächst empfohlen werden.
- d) Infolge von Verwitterungsprozessen kann es zu einer - möglicherweise nur lokalen - Anreicherung von Uranmineralien in den Fließerde-Deckschichten, aber auch in Weihern und Tümpeln der Umgebung gekommen sein. Hiervon ausgehende Radonbelastungen könnten durch geeignete Dränagemaßnahmen von Wohnräumen abgeleitet werden.

### 3.5.3.2 Sanierungsmöglichkeiten

Vom Untergrund ausgehend ist insbesondere für die über dem beschriebenen Quarzgang (Haus Nr. 04) und nordöstlich davon stehende Häuser mit einer erhöhten Belastung zu rechnen.

Das Gas folgt im wesentlichen in Klüften mit erhöhter Durchgängigkeit. Diese Klüftungen werden an der Erdoberfläche von 2 bis 3 m dicken Deckböden (Granitzersatz und Fließerden) mit geringer Durchlässigkeit abgedeckt. Es kommt somit in den oberen Zonen zu einer Konzentration der Gase.

Wurden etwa die Deckböden bei der Gründung eines Hauses abgetragen oder wurden "Felsenkeller" unter den Gebäuden angelegt, so kann eine Verbindung zu den Klüften des Untergrundes entstehen, und das Radongas wird bevorzugt zur Baugrube hinströmen mit der Möglichkeit, in die darüberliegenden Räume aufzusteigen.

Hieraus kann die Forderung abgeleitet werden, die Fußböden, Decken und Außenwände möglichst wenig luftdurchlässig auszubilden, was bei Neubauten (Betonsohlen, Betondecken) normalerweise ohnehin der Fall sein dürfte.

Im Fall von bestehenden Gebäuden werden sich in Abhängigkeit von der Einzelsituation verschiedene Möglichkeiten zu einer Absicherung anbieten.

Liegen etwa Felsenkeller bereits unter einem Gebäude mit erhöhter Belastung vor, so kann empfohlen werden, die Luft dieser Kellerräume gleichmäßig abzusaugen und durch nachströmende Außenluft zu ersetzen (Be- und Entlüftung).

Sind unter den Gebäuden keine "alten Felsenkeller" vorhanden, so wird eine Entgasung bei den in Großschloppen vorliegenden Untergrundverhältnissen nur mit größerem wirtschaftlichen und technischen Aufwand erfolgen können. Wegen der relativ geringen Luftdurchlässigkeit der Fließerden und Zersettschichten müßten im Falle einer solchen Maßnahme Schräg- bzw. Horizontalbohrungen mit Zwangsentgasung des Untergrundes angeordnet werden.

Um den Kostenaufwand jedoch möglichst gering zu halten, sollte deshalb bei derartigen Situationen versucht werden, durch baukonstruktive Maßnahmen innerhalb des Gebäudes die vorhandene Radonbelastung zu reduzieren.

Anders wären die Möglichkeiten, falls unterhalb des Gebäudes einerseits gut luftdurchlässiges Material ansteht, das aber andererseits wieder von weniger durchlässigem Material (z.B. Auelehm) abgedeckt ist. Bei dem luftdurchlässigen Material könnte es sich sowohl um natürlich vorhandene Kiese, aber auch um im Zusammenhang mit der Errichtung des Bauwerkes künstlich eingebaute Trag- oder Dränageschichten handeln.

Bei so einer Anordnung wäre denkbar, daß eine passive Entgasung über an der Außenseite des Gebäudes angelegte Drängräben oder Schächte erfolgen kann.

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß eine Sanierung im Einzelfall von zahlreichen Faktoren des Untergrundes und der Bausubstanz abhängt, die entsprechend untersucht und beurteilt werden müssen.

Sollten für eine Entgasung ungünstige Untergrundverhältnisse vorliegen, so würden geotechnische Sicherungsmaßnahmen sehr rasch einen größeren wirtschaftlichen Umfang erreichen.

### 3.6 Zusammenfassung

In den Jahren 1987 und 1988 wurden am Standort A umfangreiche Radonmessungen, Bauaufnahmen und geologische Erhebungen durchgeführt.

#### 3.6.1 Altersstruktur der untersuchten Gebäude

Großschoppen weist eine relativ alte Bausubstanz auf. Ein großer Teil der Gebäude wurden vor 1900, zum Teil bereits im 18. Jahrhundert erbaut. In die Untersuchungen wurden neben den älteren Gebäuden praktisch alle jüngeren, d.h. nach 1900 errichteten Häuser einbezogen, um eine möglichst gleichmäßige Altersverteilung zu erreichen. Die Altersstruktur der untersuchten Gebäude ist Tabelle 35 zu entnehmen.

Tabelle 35: Altersstruktur der untersuchten Gebäude (Standort A)

Baujahr	Altersstufe	Anzahl der Gebäude
vor 1900	I	7
1901 bis 1945	II	3
nach 1945	III	6

#### 3.6.2 Altersstufe I

Legt man für die nachfolgende Betrachtung nur die in den einzelnen Häusern gemessenen maximalen Radonkonzentrationen zugrunde, so ergibt sich für die Alterstufe I folgender Zusammenhang: Die maximalen Radonkonzentrationen schwanken in relativ weiten Grenzen; sie liegen zwischen 310 und 3200 Bq/m<sup>3</sup>. Wie Bild 29 zeigt, kann die Altersgruppe I in zwei Teilgruppen unterteilt werden:



- Häuser Nr. 02, 04 und 06 mit Werten über 1000 Bq/m<sup>3</sup>,
- Häuser Nr. 08, 10, 15 und 16(Alt) mit Werten zwischen 310 und 520 Bq/m<sup>3</sup>, d.h. unter 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Im folgenden wird versucht, diese Unterschiede anhand der Bauaufnahmen und geologischen Erhebungen zu erklären.

Bei allen Häusern der Altersgruppe I bestehen die Außenmauern ganz bzw. größtenteils aus Granitmauerwerk. Die Gebäude sind - mit Ausnahme von Haus Nr. 04 - nicht unterkellert und weisen - Haus Nr. 06 ausgenommen - in allen Erdgeschoßräumen eine Betonplatte als Abgrenzung zum anstehenden Erdreich auf.

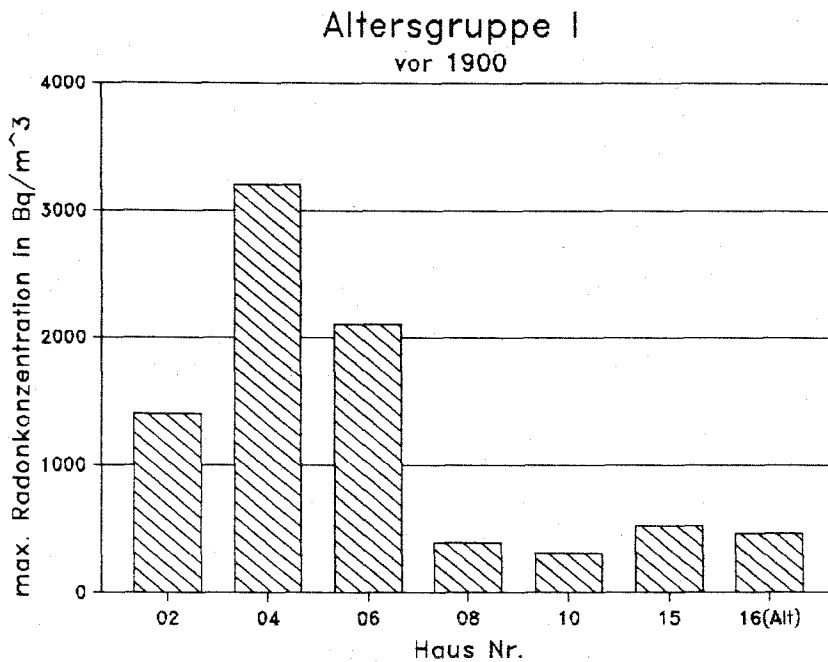


Bild 29: Maximale Radonkonzentrationen in den Häusern der Altersgruppe I

Die in den Erdgeschoßräumen eingebauten Fenster sind dichtschließende Holzverbund- bzw. Kunststoffenster; in den Häusern Nr. 15 und 16(Alt) wurden einfach verglaste Holzfenster vorgefunden.

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten ist, wie bereits in Abschnitt 3.5 ausgeführt, davon auszugehen, daß die nordöstlich des Quarzganges liegenden Gebäude einer stärkeren geogenen Radonbelastung ausgesetzt sind. In der Altersgruppe I sind hiervon die Häuser Nr. 15 und 16, insbesondere aber Nr. 04 betroffen.

Haus Nr. 04 liegt direkt auf dieser geologischen Störung. Das Gebäude ist zwar in Teilbereichen unterkellert; die Keller sind jedoch sehr schlecht belüftet. Dies führt dazu, daß sich das aus dem Erdreich eintretende Radon in den Kellerräumen ansammelt und von dort in die darüberliegenden Räume eindringt. Eine wirkungsvolle Sanierungsmaßnahme dürfte darin bestehen, die Kellerräume intensiv zu be- und entlüften; ein entsprechender Sanierungsvorschlag wird in Abschnitt 5.1 dargestellt.

Haus Nr. 06 weist als einziges Gebäude dieser Altergruppe in Teilbereichen des Erdgeschosses keine Betonbodenplatte, sondern eine aus Holzlagern und Bretterboden bestehende, direkt auf dem anstehenden Erdreich verlegte Fußbodenkonstruktion auf. Demzufolge kann das Radon praktisch ungehindert in die Erdgeschoßräume eindringen. Als Sanierungsmaßnahme wird in Abschnitt 5.2 u.a. der nachträgliche Einbau einer Betonbodenplatte empfohlen.

Bei Haus Nr. 02 sind die Ursachen für die hohen Radonkonzentrationen nicht so offensichtlich wie bei den beiden vorgenannten Gebäuden. Die Lage des Hauses in der stärker belasteten Zone nordöstlich des Quarzganges und unzureichende Lüftung der Räume sind mögliche Ursachen für die hohen Radonwerte.

Die Häuser Nr. 15 und 16 liegen ebenfalls nordöstlich des Quarzganges, so daß auch bei diesen beiden Gebäuden höhere Konzentrationen zu erwarten wären. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, daß in den Erdgeschoßräumen beider Häuser ältere Holzfenster mit einfacher Verglasung eingebaut sind und daher die Lüftungsrate der Räume entsprechend groß ist.

### 3.6.3 Alterstufe II

Die Altersstufe II umfaßt die drei Häuser Nr. 11/12, 17 und 22. Die Außenmauern aller Gebäude bestehen aus Granitmauerwerk; in den Erdgeschoßräumen sind ausnahmslos Holzverbund- bzw. Kunststoffenster eingebaut. Haus Nr. 22 ist in Teilbereichen unterkellert; die beiden übrigen Gebäude sind nicht unterkellert. Haus Nr. 17 weist in Teilbereichen des Erdgeschosses keinen Betonboden auf.

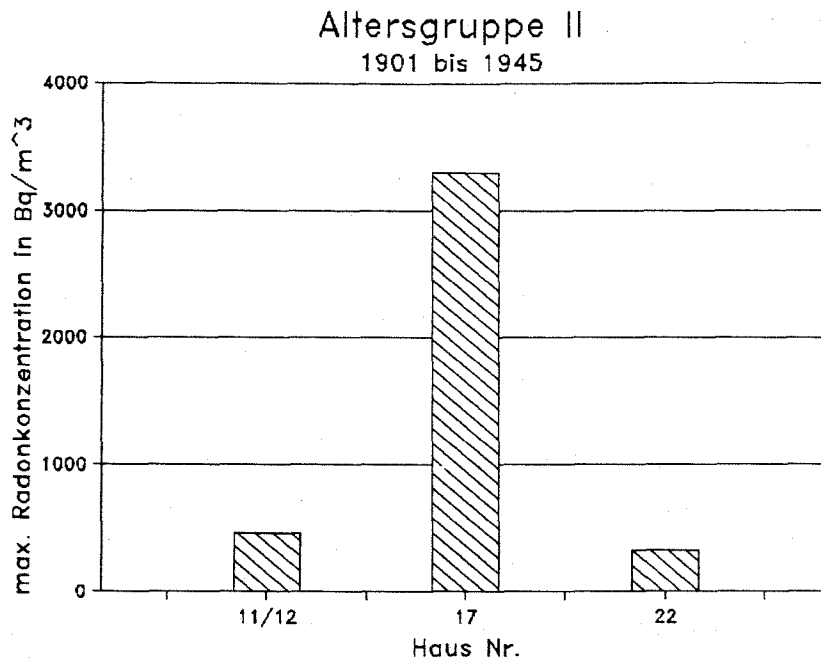


Bild 30: Maximale Radonkonzentrationen in den Häusern der Altersgruppe II

Der höchste Wert innerhalb der Altersgruppe II wurde in Haus Nr. 17 vorgefunden. Die Ursachen hierfür liegen, ähnlich wie bei Haus Nr. 06, im Fußbodenaufbau begründet. Einen Sanierungsvorschlag für dieses Gebäude enthält Abschnitt 5.3.

Zwischen den Häusern Nr. 11/12 und 22 wären aufgrund ihrer unterschiedlichen Lage auf beiden Seiten des Quarzanges größere Unterschiede bzgl. Radonkonzentration zu erwarten. Bei Haus Nr. 22 ist jedoch außer der möglicherweise stärkeren geogenen Belastung zu berücksichtigen, daß das Gebäude teilweise unterkellert ist. Von der baulichen Konzeption her kann davon ausgegangen werden, daß die Kellerräume gut belüftet werden.

#### 3.6.4 Altersstufe III

Diese Altersstufe umfaßt insgesamt 6 Gebäude, und zwar die Häuser Nr. 03, 13(Alt), 13(Neu), 16(Neu), 25(Alt) und 25(Neu).

Sämtliche Gebäude mit Ausnahme von Haus Nr. 13 sind voll unterkellert. Alle Gebäude weisen im Kellergeschoß bzw. bei den nicht unterkellerten im Erdgeschoß einen Betonboden auf. Als Wandbaustoffe wurden Ziegel oder Bimssteine verwendet; lediglich bei Haus Nr. 13(Neu) bestehen die Giebelwände aus Granitmauerwerk.

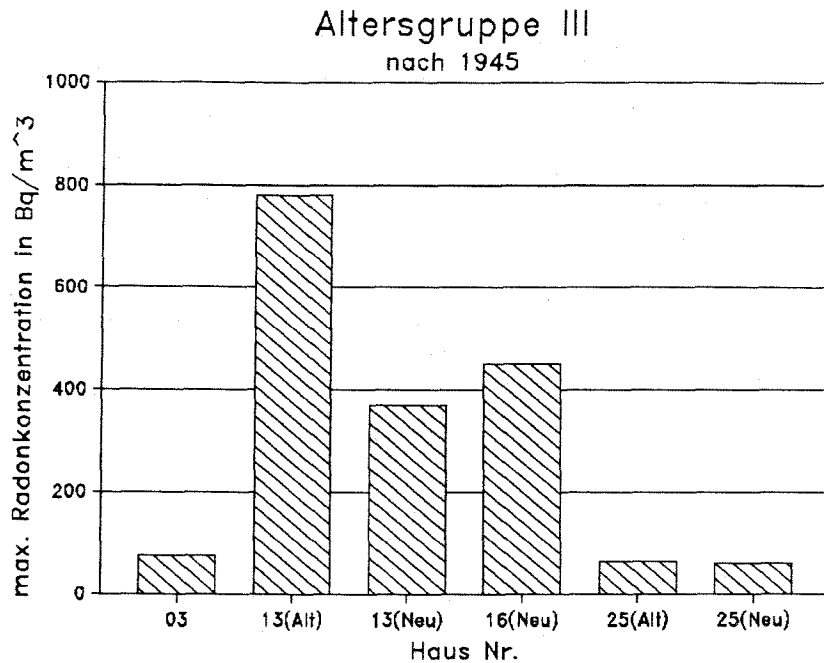


Bild 31: Maximale Radonkonzentrationen in den Häusern der Altersgruppe III

Die maximalen Radonkonzentrationen liegen zwischen 60 und 780 Bq/m<sup>3</sup> und sind somit deutlich geringer als diejenigen der beiden übrigen Altersgruppen. Wie Bild 31 zeigt, kann die Altersgruppe III ebenfalls in zwei Teilgruppen unterteilt werden:

- Häuser Nr. 03, 25(Alt) und 25(Neu) mit Werten unter 100 Bq/m<sup>3</sup>,
- Häuser Nr. 13(Alt), 13(Neu) und 16(Neu) mit Werten über 100 Bq/m<sup>3</sup>, jedoch unter 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Haus Nr. 13(Alt) ist das älteste Gebäude innerhalb dieser Altersgruppe; es wurde im Jahre 1953 erbaut. Die hohe Radonkonzentration von 780 Bq/m<sup>3</sup> wird hauptsächlich dadurch verursacht, daß das Gebäude nicht unterkellert ist.

Haus Nr. 13(Neu) ist mit dem Altbau direkt verbunden. Demnach findet zwischen den beiden Häusern ein mehr oder weniger starker Luftaustausch statt, so daß Radon nicht nur aus dem Untergrund des jeweiligen Gebäudes eindringen kann, sondern auch infolge Luftaustausch aus dem Nachbargebäude "eingeschleppt" wird. Hinzu kommt, daß auch Haus Nr. 13(neu) nicht unterkellert ist.

Eine ähnliche Situation ist auch bei Haus Nr. 16(Neu) feststellbar, wobei der Luftaustausch hier noch deutlich größer sein dürfte als bei Nr. 13.

#### 4 Schlußfolgerungen

Eng benachbarte Häuser können sich hinsichtlich ihrer Radonkonzentrationen in Innenräumen sehr stark unterscheiden. So wurden am Standort A in 16 Häusern, die sich auf einer Grundfläche von rd. 450 m \* 200 m befinden, Werte von 60 Bq/m<sup>3</sup> bis zu 3300 Bq/m<sup>3</sup> vorgefunden.

Die niedrigsten Radonwerte zeigten diejenigen Gebäude, die voll unterkellert waren und eine über die gesamte Grundfläche durchgehende Betonbodenplatte aufwiesen. Die höchsten Konzentrationen wurden in Räumen gemessen, bei denen ein direkt auf dem anstehenden Erdreich verlegter Holzfußboden ohne weitere Abdichtung vorhanden war.

Häuser, in denen der ursprünglich eingebaute Holzfußboden entfernt und durch eine Betonplatte ersetzt worden war, zeigten deutlich niedrigere Radonkonzentrationen als diejenigen Gebäude, in denen noch ein Holzfußboden vorhanden war. Dieser Sachverhalt ist darauf zurückzuführen, daß die eingebaute Betonplatte eine wesentlich bessere Radonabdichtung darstellt als eine reine Holzkonstruktion.

Andererseits lagen die Radonkonzentrationen in Gebäuden mit nachträglich eingebautem Betonboden jedoch deutlich höher als bei neueren Gebäuden mit durchgehender Betonbodenplatte. Diese Unterschiede sind folgendermaßen zu erklären: Der nachträgliche Einbau eines Betonbodens kann aufgrund der Begrenzung durch die Wände nur "zimmerweise" erfolgen, d.h. im Anschlußbereich Wand/Fußboden entsteht eine vertikale Fuge, über die aus dem Baugrund entweichendes Radon in den Innenraum gelangen kann. Es ist davon auszugehen, daß diese Fugen nicht abgedichtet wurden, weil die Umbauten unter bauphysikalischen Aspekten und nicht im Hinblick auf eine Reduzierung der Radonkonzentration durchgeführt wurden. Demgegenüber stellt die über die gesamte Grundfläche des Gebäudes reichende Betonbodenplatte eine durchgehende fugenlose Abdichtung dar.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß das aus dem Erdreich entweichende Radongas die primäre Ursache für die Radonbelastung der Innenräume darstellt. Andere Ursachen, z.B. die Radonexhalation aus den verwendeten Baustoffen, sind von untergeordneter Bedeutung.

Bei mehreren Häusern wurden auffällig hohe Radonwerte in der Küche gemessen. Hierfür ist zum einen das Lüftungsverhalten der Hausbewohner (geschlossene Fenster, um Belästigung durch Fliegen zu vermeiden) maßgebend. Außerdem wurden in der Küche oft offene Feuerstellen (Holz- und Kohleöfen) vorgefunden. Offene Feuerstellen können, da sie den Sauerstoff in der Raumluft verbrauchen, im betreffenden Raum einen Unterdruck erzeugen. Durch den entstehenden Saugeffekt kann u.U. Radongas aus dem Erdreich in die Räume eindringen.

Vergleichende Messungen in mehreren Stockwerken ergaben meist höhere Werte für die tieferliegenden Etagen. Dies deutet zunächst einmal darauf hin, daß das aus dem Baugrund

entweichende Radon die primäre Ursache für die Innenraumbelastung darstellt. Demzufolge reichert sich Radon im unteren Geschoß an und verteilt sich von dort über Flure, Treppenhäuser usw. in die darüberliegenden Etagen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß bei mehreren Häusern im Obergeschoß ältere einfach verglaste Holzfenster, im Erdgeschoß hingegen Holzverbund- bzw. Kunststoff-Fenster mit Gummilippendichtung eingebaut sind. Demzufolge ist die Lüftungsrate und damit die Radonabfuhr aus dem Innenraum im Obergeschoß größer als im Erdgeschoß.

## 5 Sanierungsvorschläge

### 5.1 Standort A, Haus Nr. 04

In diesem Gebäude wurde die höchste Radonbelastung im nicht belüfteten Gewölbekeller ( $3200 \text{ Bq/m}^3$ ) sowie in dem darüberliegenden Arbeitsraum ( $1250 \text{ Bq/m}^3$ ) gemessen.

Im vorliegenden Fall bietet es sich an, zunächst mit einer mechanischen Entlüftung des Gewölbekellers die dortige Radonbelastung zu reduzieren. Mit dieser Maßnahme könnte vermutlich auch die Konzentration im Arbeitsraum merklich abgesenkt werden.

Außerdem sollte in einem zweiten Sanierungsschritt außenseitig um den Aufenthaltsbereich eine Ringleitung mit einzelnen kurzen Stichleitungen angeordnet werden, die an die Kellerentlüftung anzuschließen wäre. Mit dieser Maßnahme soll auch eine Reduzierung der Radonkonzentration im Wohnzimmer und in der Küche erreicht werden.

### 5.2 Standort A, Haus Nr. 06

In der Küche dieses nicht unterkellerten Hauses wurde eine Radonkonzentration von  $2100 \text{ Bq/m}^3$  vorgefunden. Maßgebliche Ursache für die hohe Belastung dieses Raumes ist der vorhandene Fußbodenaufbau: Unter dem Fußbodenbelag aus PVC befindet sich ein Holzbretterboden auf Holzbalken, die unmittelbar über dem Erdreich ohne weitere Abdichtung verlegt sind.

Um die Radonbelastung in der Küche zu verringern, sollte der vorhandene Fußboden ganz entfernt und durch einen Betonboden mit Abdichtung, Dämmschicht, Estrich und Belag ersetzt werden.

Um ein Ausströmen von Radon über die Küchenaußenwände nach

innen zu unterbinden, werden die Wandinnenseiten mit Platten bekleidet, die fabrikmäßig mit einer Dampfsperre versehen sind (z.B. Rigitherm-Verbundplatten mit einkaschierter Aluminiumfolie). Mit dieser Maßnahme soll erreicht werden, daß das durch den Einbau eines dichten Fußbodens möglicherweise in die Wände gelenkte Radon nicht ins Rauminnere, sondern über die Wände direkt ins Freie geleitet wird.

Nach dem Entfernen des alten Fußbodens böte sich zusätzlich die Möglichkeit, perforierte Rohrleitungen im Erdreich unter der Küche zu verlegen und ggf. kurze Stichleitungen unter die angrenzenden Räume zu führen. An diese Leitungen, die aus dem Gebäude herauszuführen sind, könnte später eine Absaugeinrichtung installiert werden.

Da im Erdgeschoß neue, sehr dicht schließende Fenster eingebaut wurden, müssen den Bewohnern gezielte Lüftungsanweisungen vorgegeben werden. Sollten diese Anweisungen für Bewohner nicht praktikabel sein, könnte man z.B. durch Einbau von Lüftungsschlitzen in die Fensterrahmen die gewünschte Luftwechselrate gewährleisten (Dauerlüftung).

### 5.3 Standort A, Haus Nr. 17

Bei diesem Gebäude wurden in den Erdgeschoßräumen Radonkonzentrationen bis zu  $3300 \text{ Bq/m}^3$  festgestellt. Die wesentliche Ursache hierfür ist - wie bei Haus Nr. 06 - in dem vorhandenen Fußbodenaufbau zu sehen.

Die Sanierungsmaßnahmen sollten ähnlich wie bei Haus Nr. 06, jedoch in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden. Zunächst sollte außen um das Haus herum eine Ringleitung mit kurzen in das Haus führenden Stichleitungen verlegt und eine Absaugvorrichtung angeschlossen werden.

Danach sollten die Sanierungsmaßnahmen im Innenbereich analog zu Haus Nr. 07 ausgeführt werden.

## 6 Generelle Empfehlungen für Sanierungsmaßnahmen

Grundlage für die Entscheidung, ob ein Gebäude saniert werden sollte, sind die Ergebnisse von Radonmessungen in den Hauptaufenthaltsräumen des betreffenden Hauses. Während der Messung sollten die Hausbewohner u.E. ihre Lüftungsgewohnheiten beibehalten; die Messung bei geschlossenen Fenstern und Türen liefert Ergebnisse, die bei üblichem Wohnverhalten nicht erreicht werden und von daher nicht maßgebend sind. Ggfs. sind die Messungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten zu wiederholen.

Im nächsten Schritt muß geklärt werden, welche Radonquellen für die Innenraumbelastung verantwortlich sind. In vielen Fällen wird das aus dem Erdreich entweichende Radon die

primäre Ursache sein, jedoch können im Einzelfall auch andere Radonquellen bedeutend sein. Die Ermittlung der maßgebenden Radonquellen ist äußerst wichtig, weil hierdurch bereits der Erfolg der Sanierungsmaßnahmen vorgegeben wird.

Sind die maßgeblichen Radonquellen bekannt, muß untersucht werden, auf welchen Wegen das Radon von der Quelle aus in die Innenräume gelangt. So kann Radon aus dem Baugrund z.B. über lokale Schwachstellen (Risse, Fugen, Rohr- und Leitungsdurchführungen, Schächte usw.) oder über größere Flächen (unzureichend dichter Fußboden) in die darüberliegenden Räume eindringen.

Darauf aufbauend werden die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen festgelegt, wobei die bei nahezu jedem Gebäude unterschiedlichen baulichen Gegebenheiten zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus sind aber auch weitere Faktoren wie anfallende Kosten (einmalige Installations- und evtl. laufende Unterhaltungskosten), Dauer der Sanierungsmaßnahmen, Beeinträchtigung der Wohnqualität während der Sanierung usw. zu berücksichtigen.

Einfachere Arbeiten, z.B. das Abdichten von lokalen Schwachstellen, können von den Hausbewohnern in Eigenleistung ausgeführt werden. Bei größerem Arbeitsumfang bzw. schwierigeren Arbeiten sollten entsprechende Fachleute bereits bei der Planung eingeschaltet und mit der Durchführung betraut werden.

Nach Abschluß der Sanierungsarbeiten sollten nochmals Radonmessungen durchgeführt werden, um den Erfolg der Maßnahmen beurteilen zu können. Diese Messungen müssen, damit sie mit den Erstmessungen vor der Sanierung vergleichbar sind, unter gleichen Bedingungen wie die Erstmessungen erfolgen.

U.U. kann es durchaus sinnvoll sein, die Sanierungsmaßnahmen stufenweise zu realisieren und nach Abschluß einzelner Sanierungsstufen Kontrollmessungen vorzunehmen. Durch diese Vorgehensweise läßt sich einerseits der jeweilige Erfolg der Einzelmaßnahmen abschätzen, andererseits kann bei entsprechendem Erfolg die Sanierung ggfs. vorzeitig beendet werden.

Nach der Durchführung einer Sanierung sollten regelmäßige Kontrollen erfolgen. Dabei sollte überprüft werden, ob z.B. lokale Abdichtungen noch intakt sind bzw. zwischenzeitlich neue Risse aufgetreten sind. Sofern eine optische Kontrolle nicht möglich ist, sollten die Radonmessungen in einem Abstand von mehreren Jahren wiederholt werden.



## 7 Literatur

/1/ Bundesminister des Innern (Hrsg.):

Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen.  
Forschungsbericht, Bonn, 1978.

/2/ Bundesminister des Innern (Hrsg.):

Radon in Wohnungen und im Freien. Erhebungsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland.  
Forschungsbericht, Bonn, 1985.

/3/ Bundesminister des Innern (Hrsg.):

Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 11. Dezember 1985.  
In: Bundesanzeiger 38 (1986), Nr. 4, S. 141 - 143

/4/ Bundesminister des Innern (Hrsg.):

Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte. (Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 84. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 30. Juni 1988)  
In: Bundesanzeiger Nr. 208 vom 05.11.1988,  
S. 4759 - 4760

/5/ Krisiuk, E.M. et al.:

A Study of Radioactivity of Building Materials.  
Leningrad Research Institute for Radiation Hygiene,  
Leningrad, 1971

/6/ Keller, G.; Muth, H.:

Natürliche Radioaktivität.  
In: Beckert/Mechel/Lamprecht (Hrsg.): Gesundes Wohnen - Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt.  
Düsseldorf : Beton-Verlag, 1986, S. 150 - 163

- /7/ Krieger, R.:  
Radioaktivität und Betonbauwerke.  
In: beton 37 (1987), Nr. 2, S. 55 - 58
- /8/ Sorantin, H.:  
Strahlung in Betonbauten.  
In: Zement und Beton 31 (1986), Nr. 1, S. 48 - 53
- /9/ Vinkeloe, R.:  
Radioaktivität von Baustoffen.  
In: Beton-Informationen 1-87, S. 3 - 7
- /10/ Wicke, A.:  
Untersuchungen zur Frage der natürlichen Radioaktivität der Luft in Wohn- und Aufenthaltsbereichen - Grundlagen zur Abschätzung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon- und Thoron-Zerfallsprodukten.  
Dissertation, Universität Gießen, 1979.
- /11/ Kunsch, B.; Steger, F.:  
Die Vornorm S 5200 "Radioaktivität in Baustoffen".  
In: Zement und Beton 32 (1987), Nr. 4, S. 152 - 154
- /12/ U.S. Environmental Protection Agency (Hrsg.):  
Radon Reduction Methods - A Homeowner's Guide
- /13/ The Radiation Protection Institutes of Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden (Hrsg.):  
Naturally Occuring Radiation in the Nordic Countries - Recommendations.  
Ríkisprentsmidjan Gutenberg, Reykjavik, 1986.

/14/ Neroth, G.:

Möglichkeiten zur Reduzierung der Radonkonzentration  
in Innenräumen.

In: Veröffentlichungen des Bereiches Materialprüfung -  
Materialprüfungsamt, Heft 6 "100 Jahre Materialprüfung  
in der LGA", S. 11 -15

/15/ Aurand, K.:

Radon in Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland.  
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des  
Instituts für Bautechnik, Berlin.

**Abschlußbericht zur Forschungsarbeit**

**"Einfluß der natürlichen Strahlung in Wohnhäusern"**

(Kurztitel: "Strahlenbelastete Wohnhäuser")

**Teil 2**

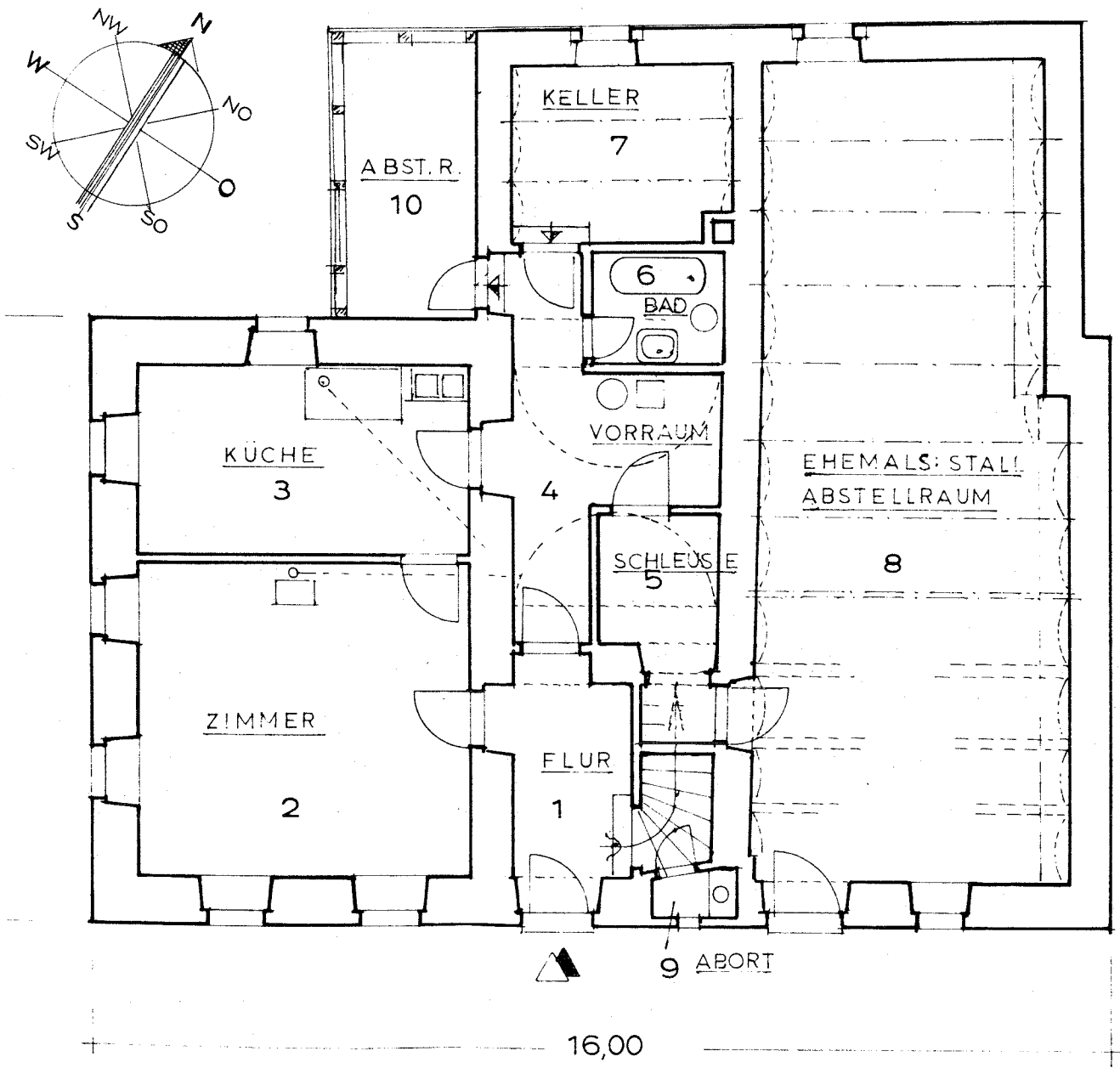
**Auftraggeber:**

**Institut für Bautechnik  
Reichpietschufer 72-76  
1000 Berlin 30**

**Az.: IV-5-505/87**

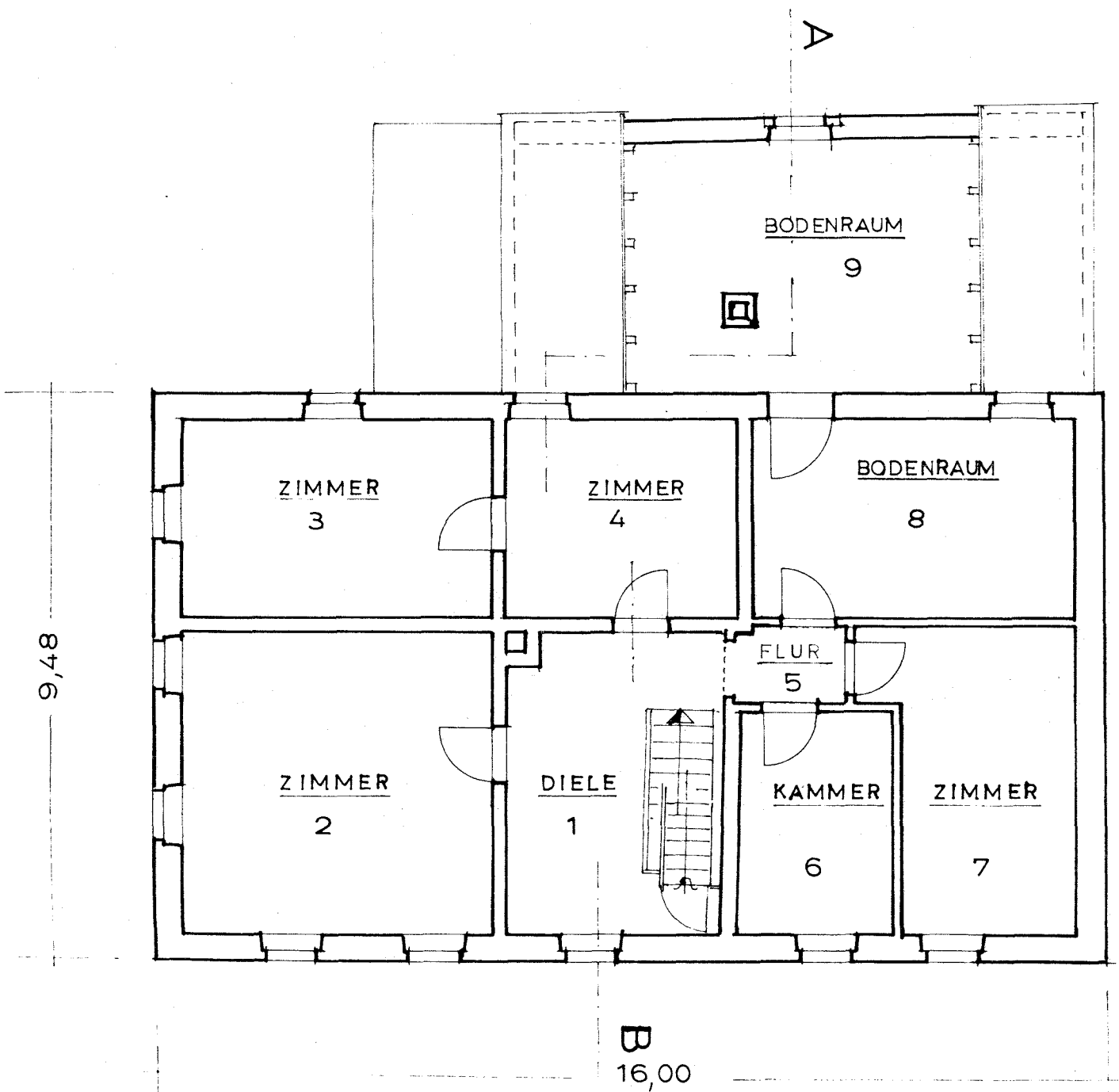
Bild Nr.	Standort	Haus Nr.	dargestellt ist:
A1	A	02	Grundriß EG
A2	A	02	Grundriß OG
A3	A	02	Schnitt
A4	A	03	Grundriß KG
A5	A	03	Grundriß EG
A6	A	03	Grundriß OG
A7	A	03	Schnitt
A8	A	04	Grundriß KG
A9	A	04	Grundriß EG
A10	A	04	Grundriß OG
A11	A	04	Schnitt
A12	A	06	Grundriß EG
A13	A	06	Grundriß OG
A14	A	06	Schnitt
A15	A	08	Grundriß EG
A16	A	08	Grundriß OG
A17	A	08	Schnitt
A18	A	10	Grundriß EG
A19	A	10	Grundriß OG
A20	A	10	Schnitt
A21	A	11/12	Grundriß EG
A22	A	11/12	Grundriß OG
A23	A	11/12	Schnitt
A24	A	13	Grundriß EG
A25	A	13	Grundriß OG
A26	A	13	Schnitt
A27	A	13	Schnitt
A28	A	15	Grundriß EG
A29	A	15	Grundriß OG
A30	A	15	Schnitt
A31	A	16	Grundriß KG
A32	A	16	Grundriß EG
A33	A	16	Grundriß OG
A34	A	16	Schnitt
A35	A	16	Schnitt
A36	A	16	Schnitt
A37	A	17	Grundriß EG
A38	A	17	Grundriß OG
A39	A	17	Schnitt
A40	A	22	Grundriß KG
A41	A	22	Grundriß EG
A42	A	22	Grundriß OG
A43	A	22	Schnitt

Bild Nr.	Standort	Haus Nr.	dargestellt ist:
A44	A	25 (Alt)	Grundriß KG
A45	A	25 (Alt)	Grundriß EG
A46	A	25 (Alt)	Grundriß OG
A47	A	25 (Alt)	Schnitt
A48	A	25 (Neu)	Grundriß KG
A49	A	25 (Neu)	Grundriß EG
A50	A	25 (Neu)	Grundriß OG
A51	A	25 (Neu)	Schnitt



ERDGESCHOSS

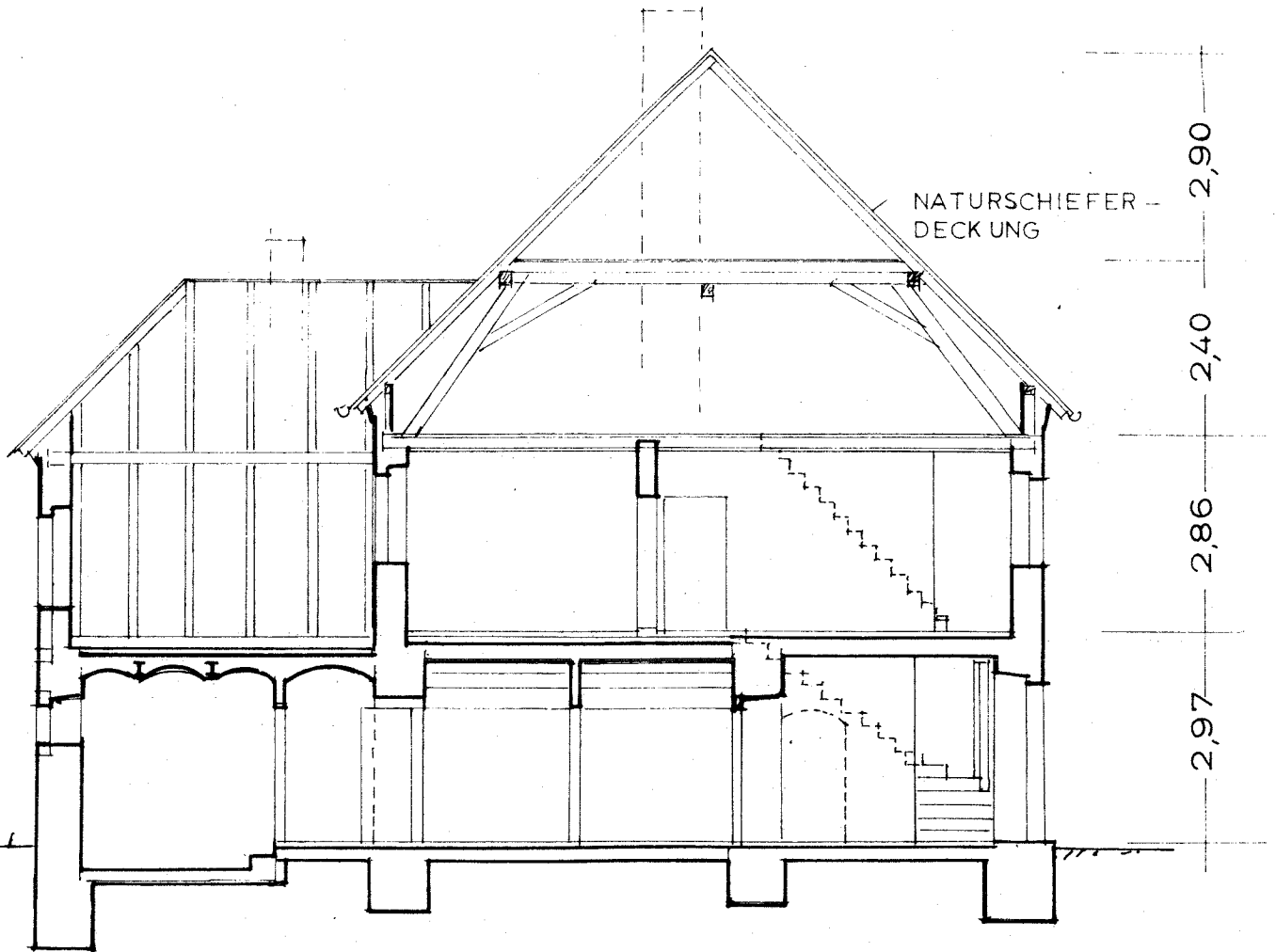
**Bild Nr. A1: Standort A, Haus Nr. 02:  
Grundriß des Erdgeschosses  
Maßstab 1:100**



OBERGESCHOSS:

Bild Nr. A2: Standort A, Haus Nr. 02:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100





SCHNITT: A B

Bild Nr. A3: Standort A, Haus Nr. 02:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

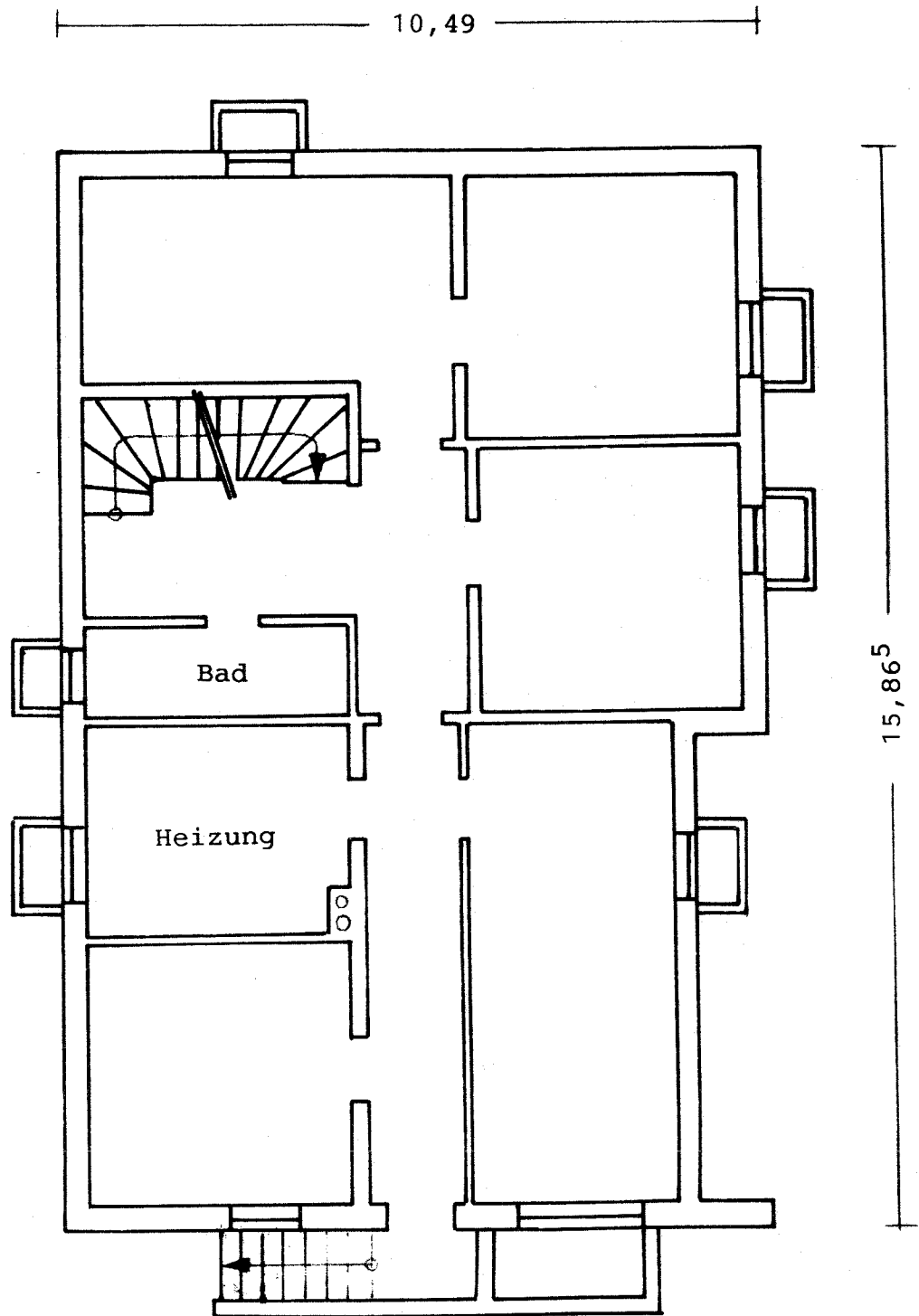


Bild Nr. A4: Standort A, Haus Nr. 03:  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100

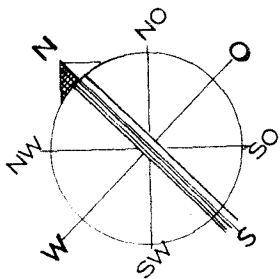
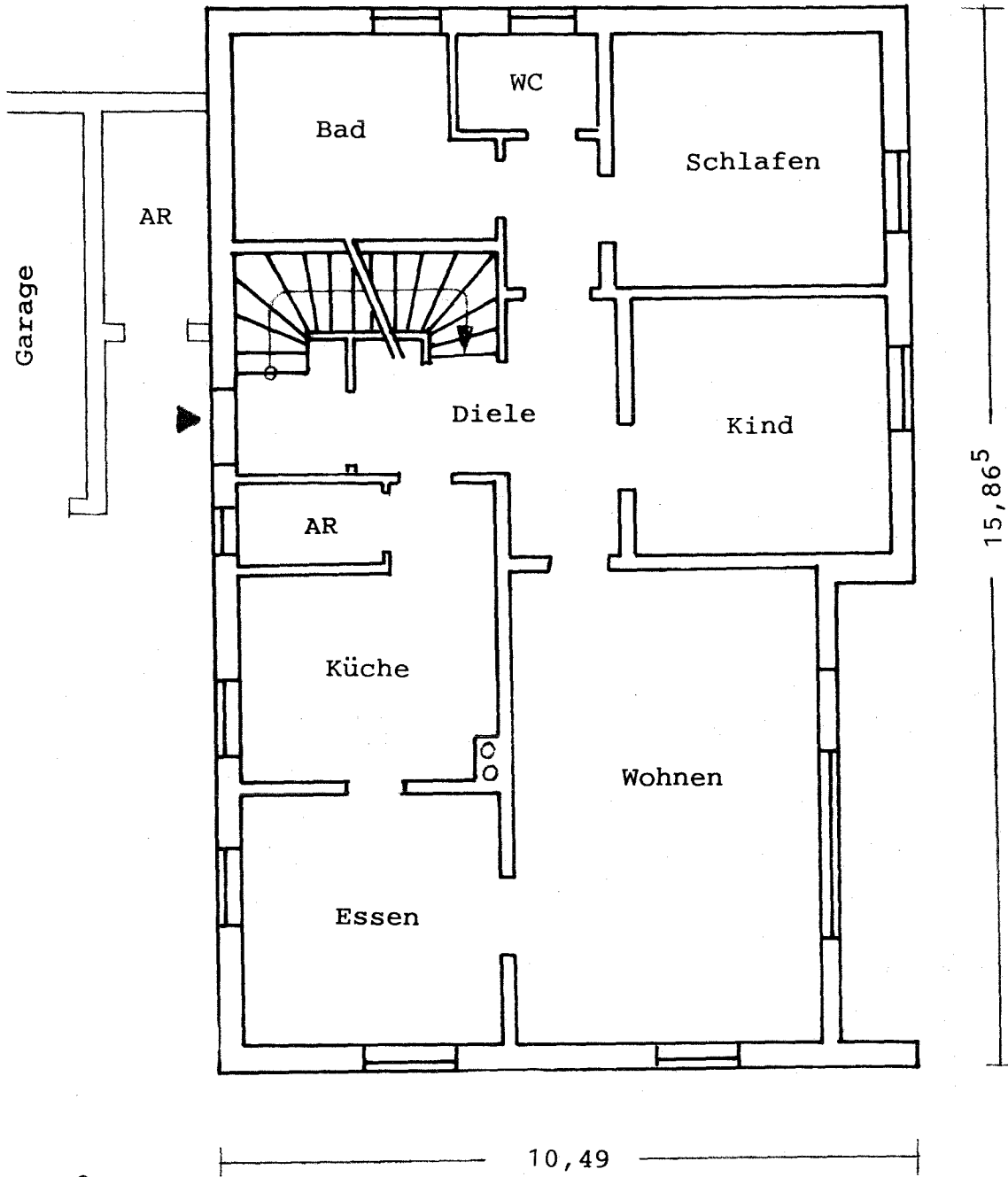


Bild Nr. A5: Standort A, Haus Nr. 03:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100

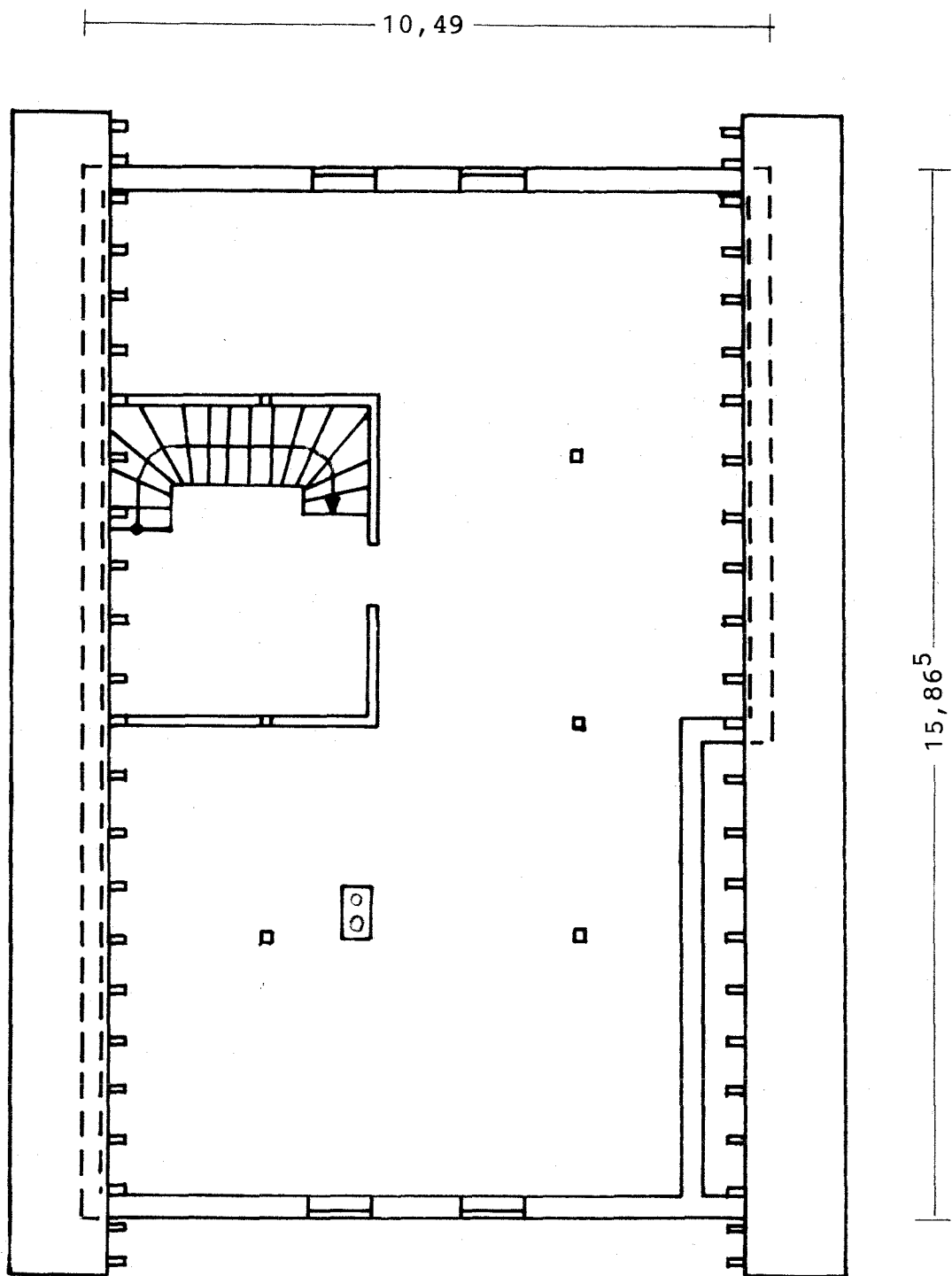


Bild Nr. A6: Standort A, Haus Nr. 03:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100

Dachneigung 32°

Dacheindeckung:

- Bitumen-Dachschindeln
- Schalung

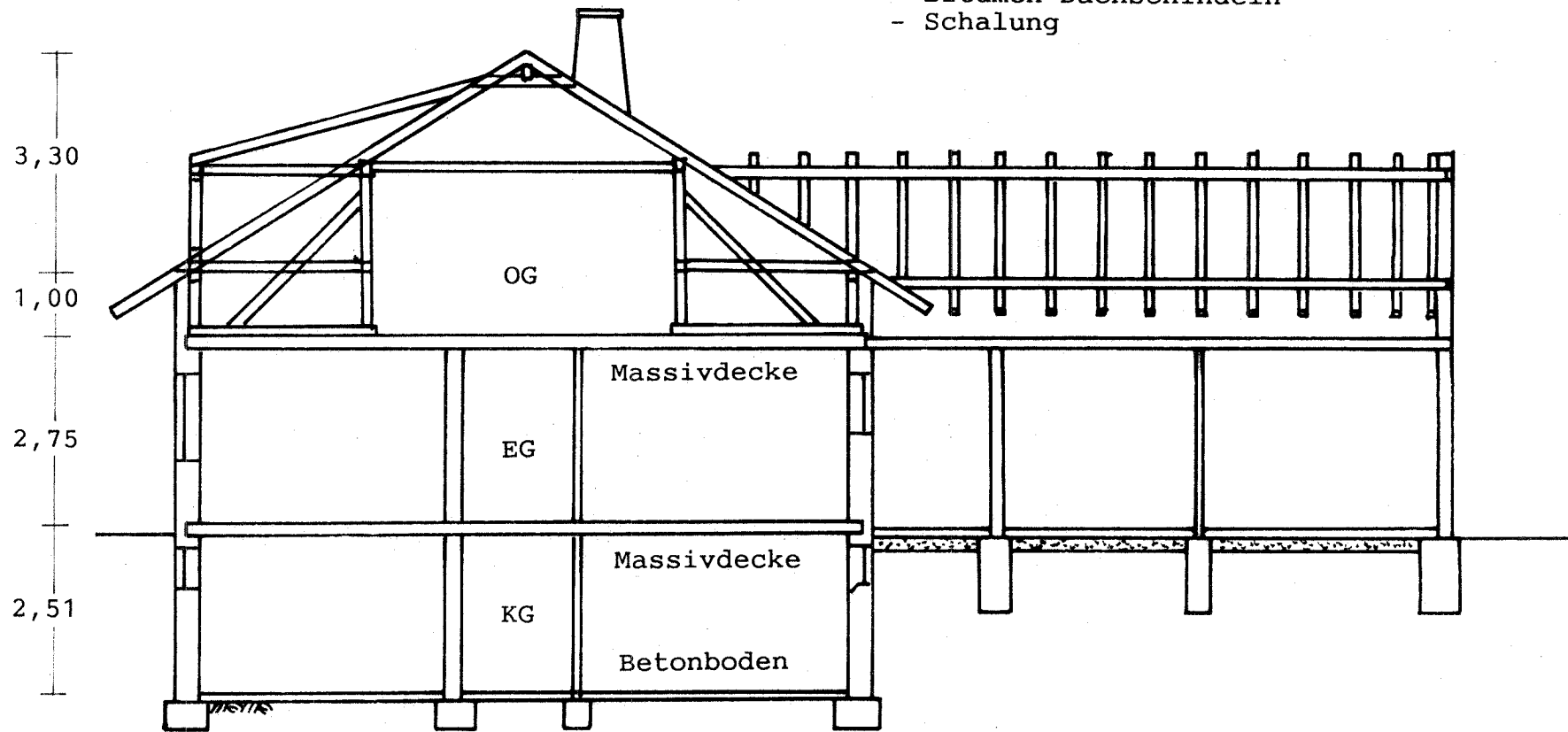
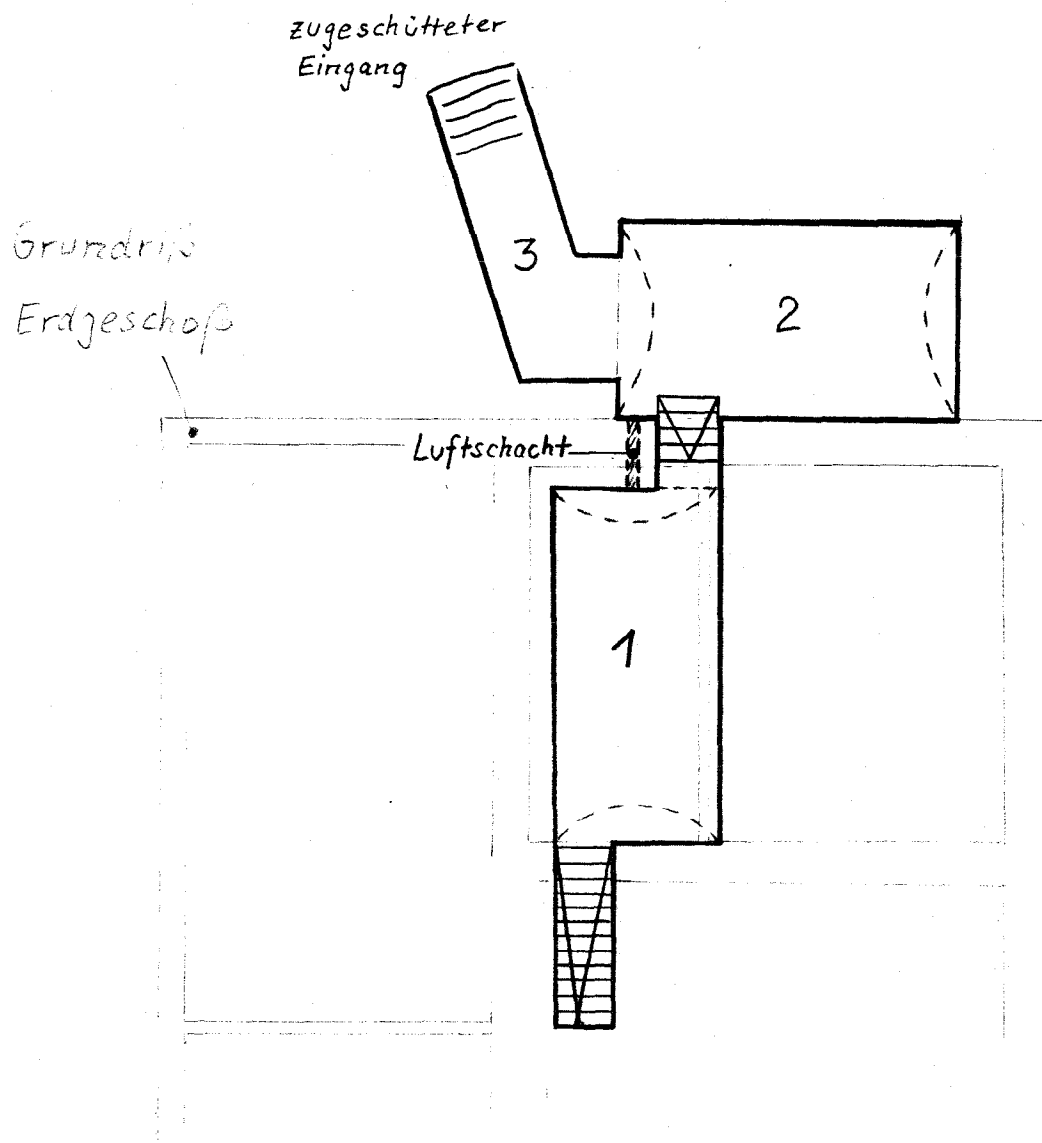
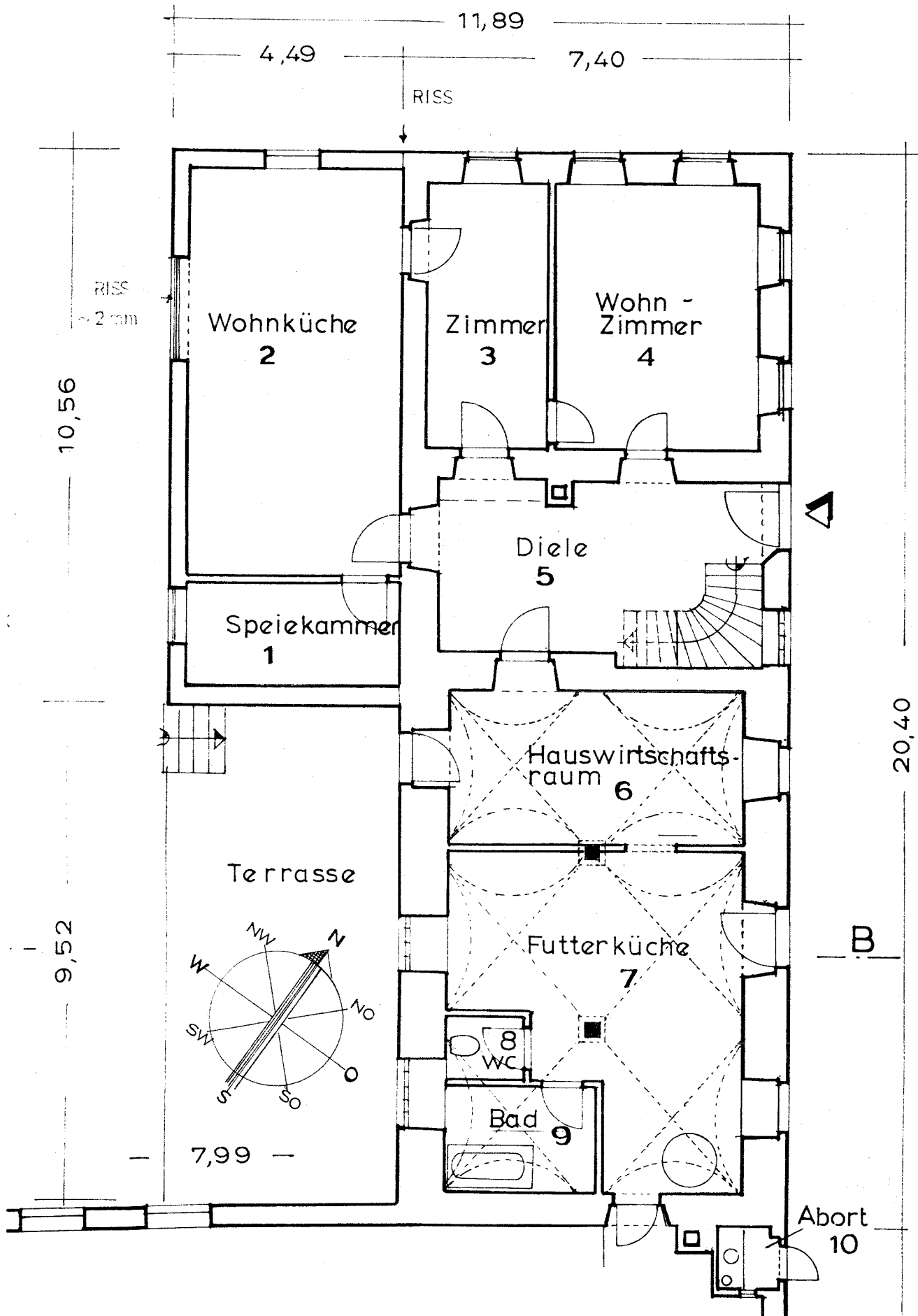


Bild Nr. A7: Standort A, Haus Nr. 03:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



Kellergeschoß

**Bild Nr. A8: Standort A, Haus Nr. 04:  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100**



**Bild Nr. A9: Standort A, Haus Nr. 04: Grundriß des Erdgeschosses Maßstab 1:100**

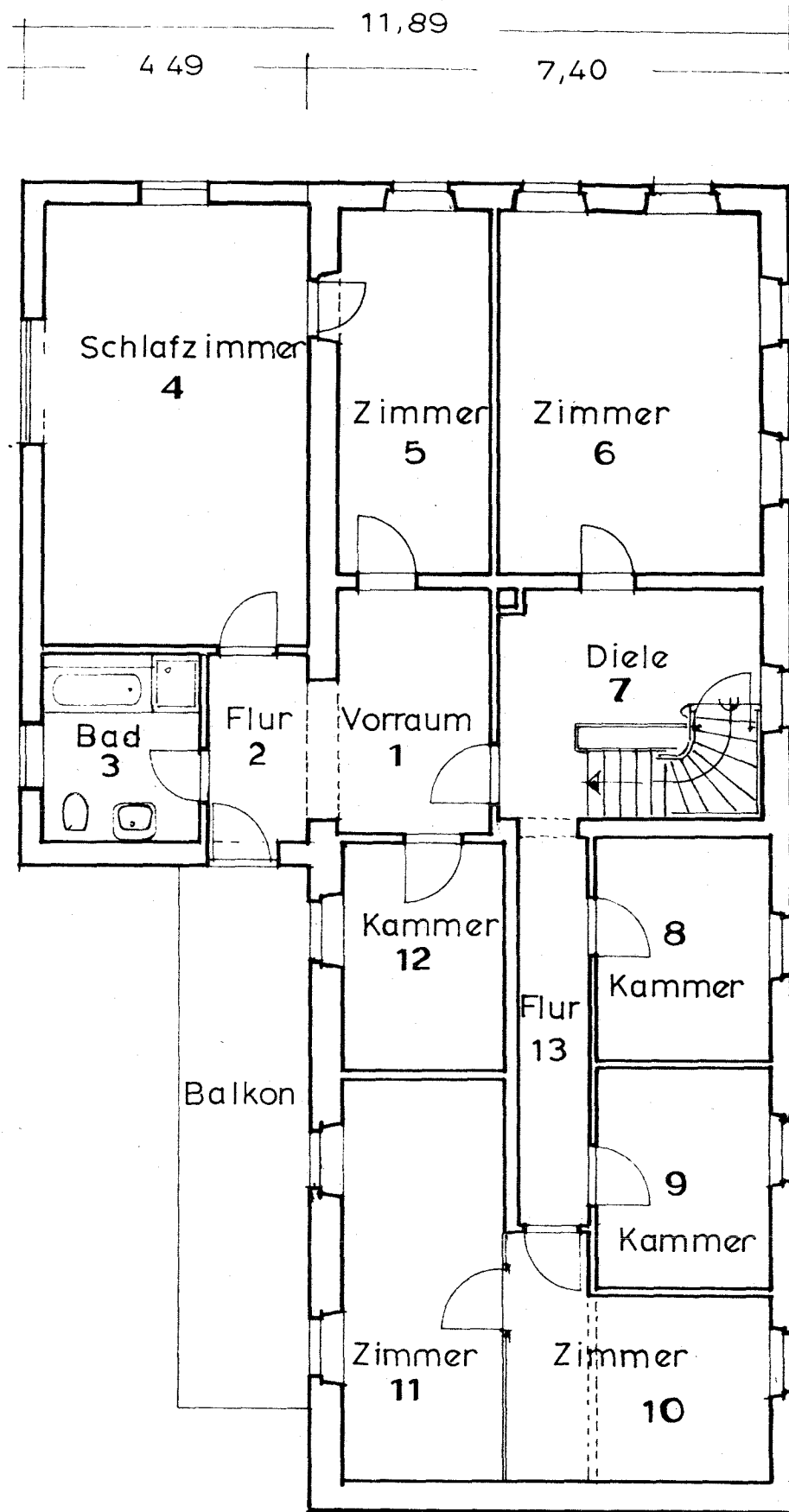
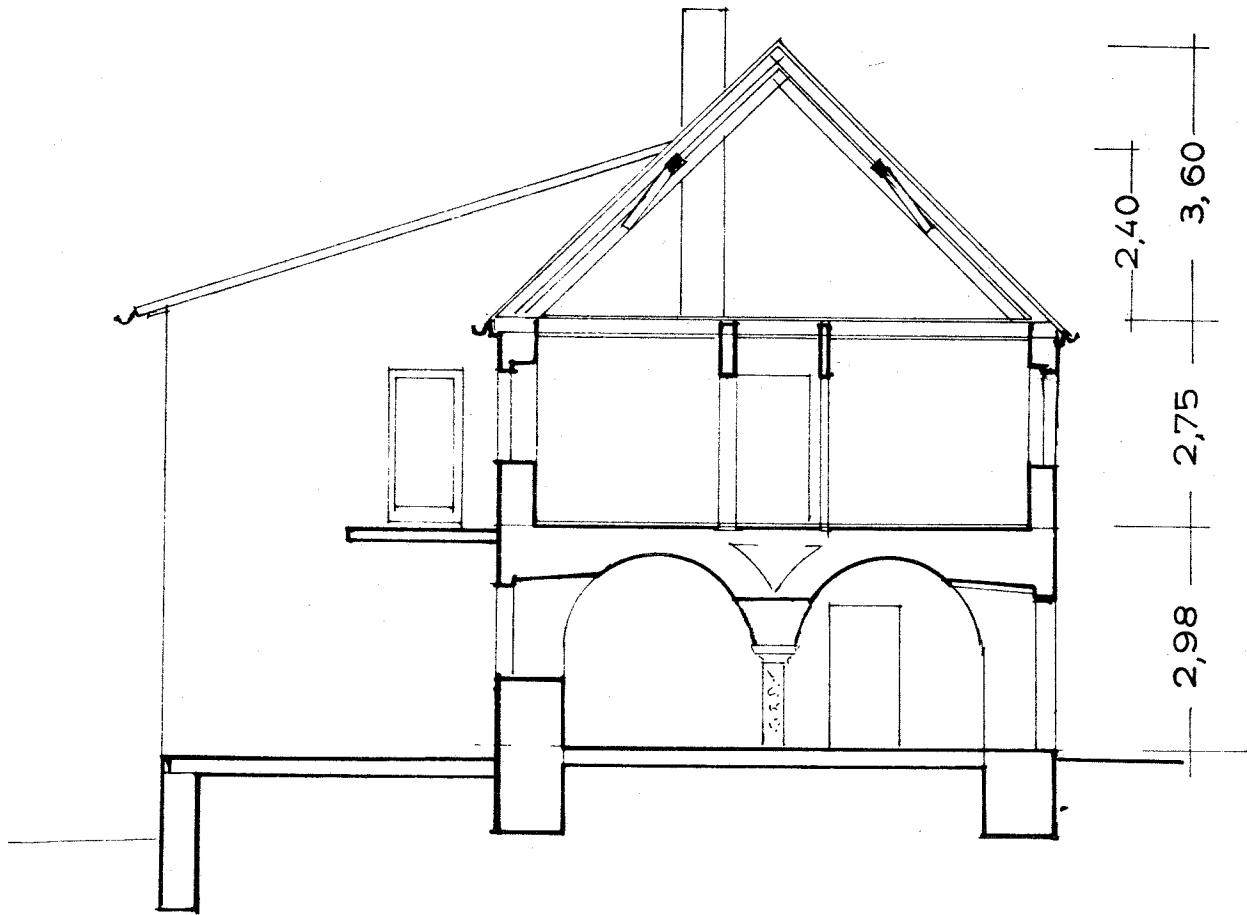


Bild Nr. A10: Standort A, Haus Nr. 04:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100





SCHNITT A B

Bild Nr. A11: Standort A, Haus Nr. 04:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

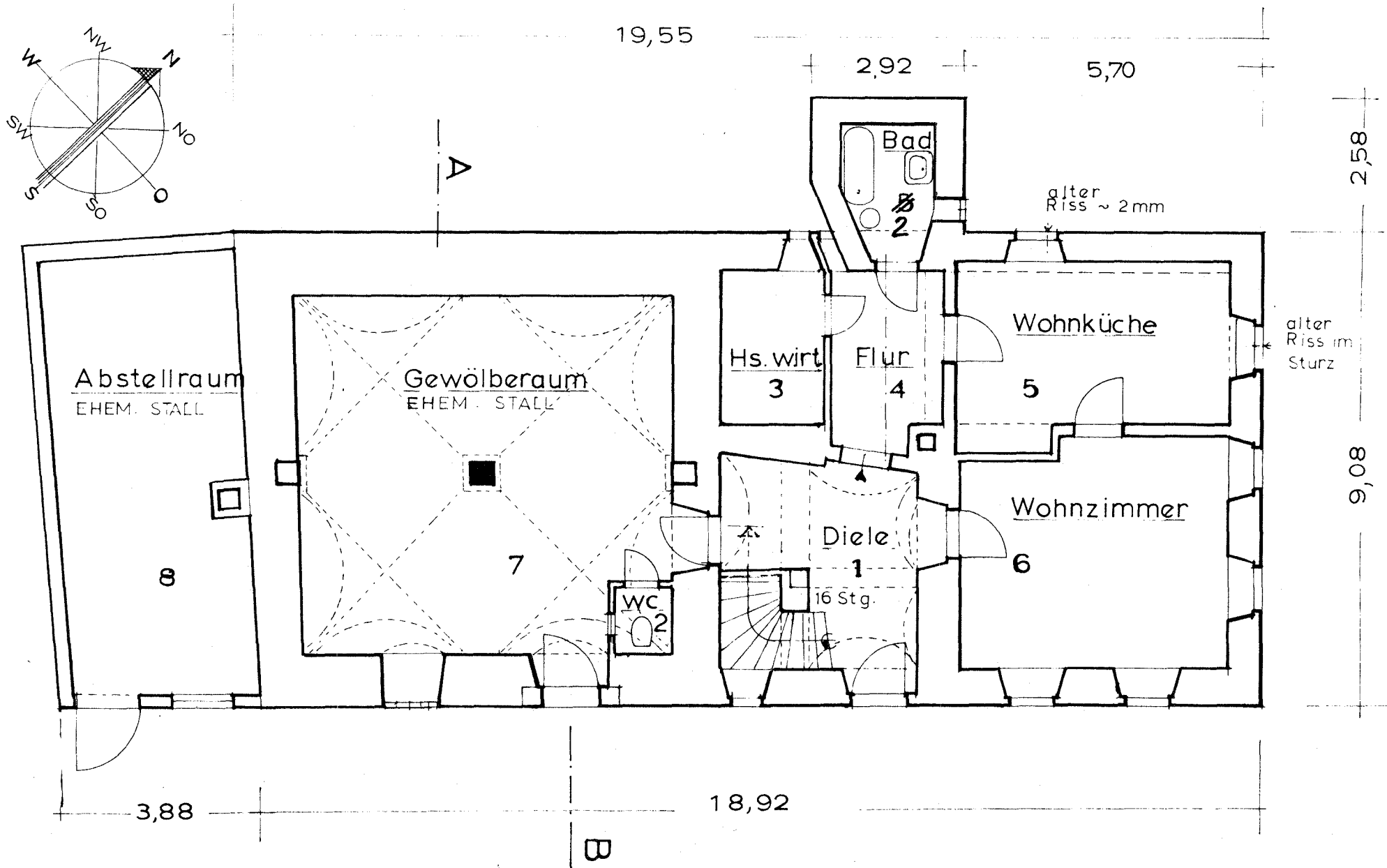


Bild Nr. A12: Standort A, Haus Nr. 06:  
Grundriß des Erdgeschosses  
Maßstab 1:100

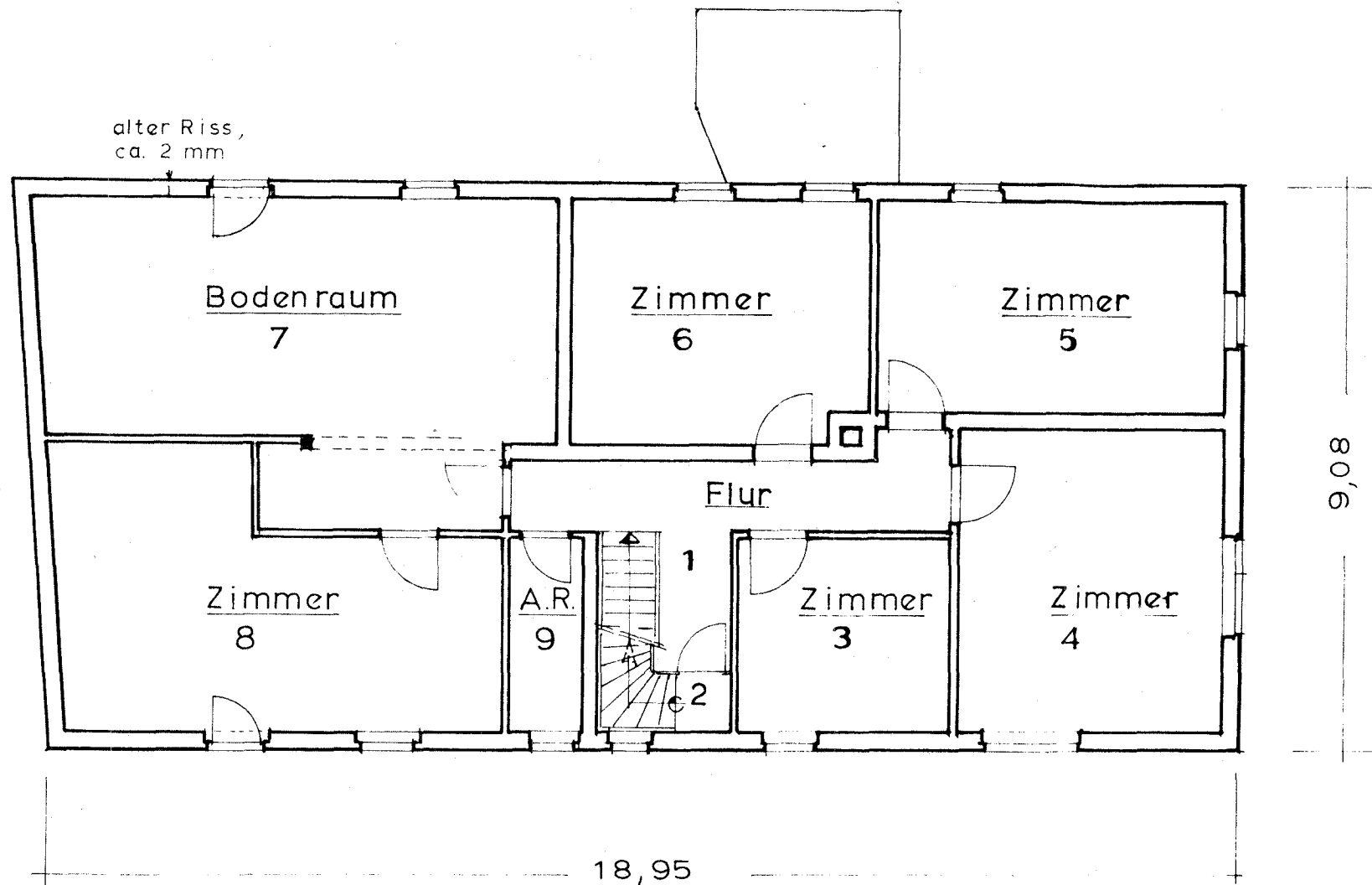
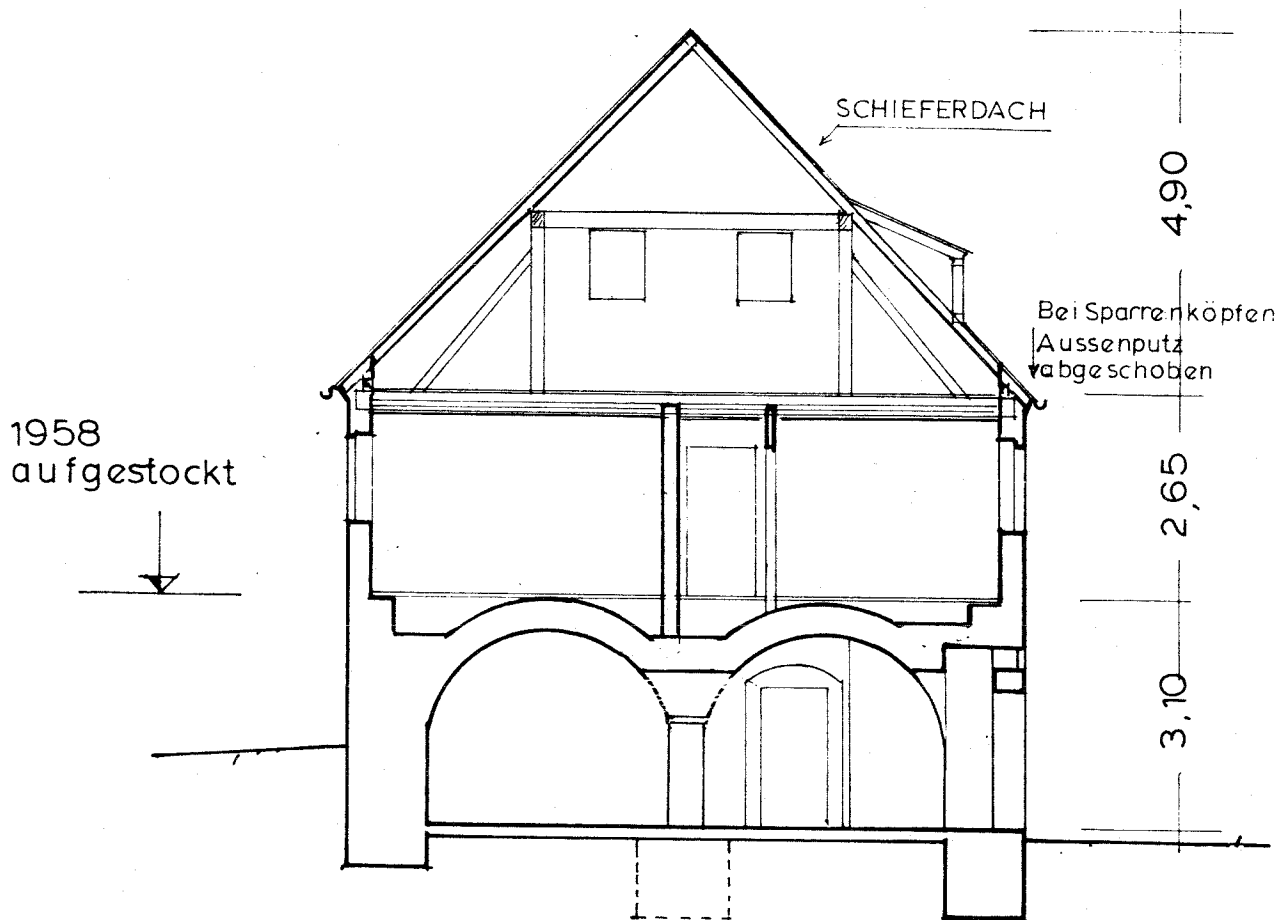


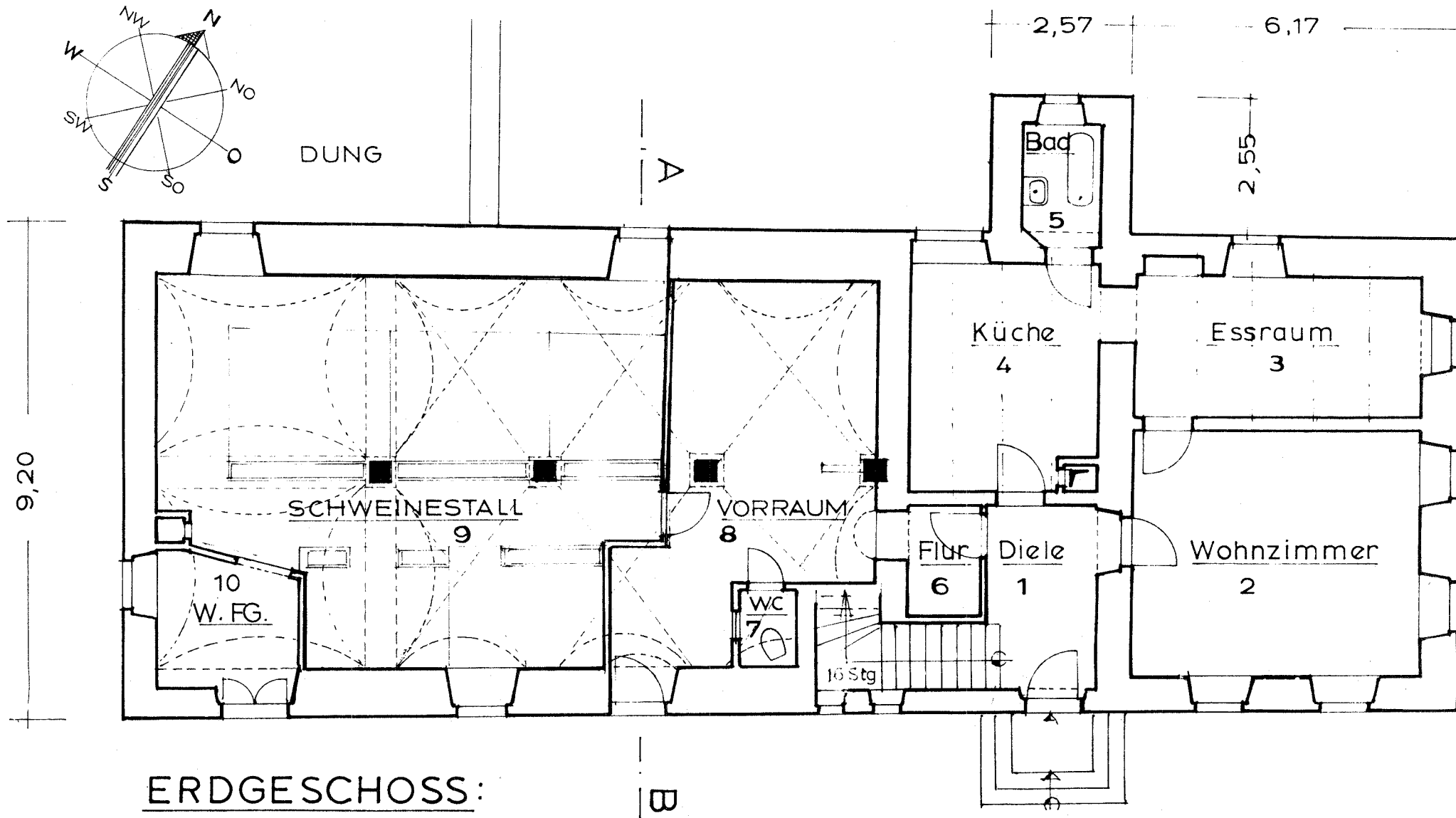
Bild Nr. A13: Standort A, Haus Nr. 06:  
Grundriß des Obergeschosses  
Maßstab 1:100

OBERGECHOSS



SCHNITT: A-B

Bild Nr. A14: Standort A, Haus Nr. 06:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



ERDGESCHOSS:

Bild Nr. A15: Standort A, Haus Nr. 08:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100

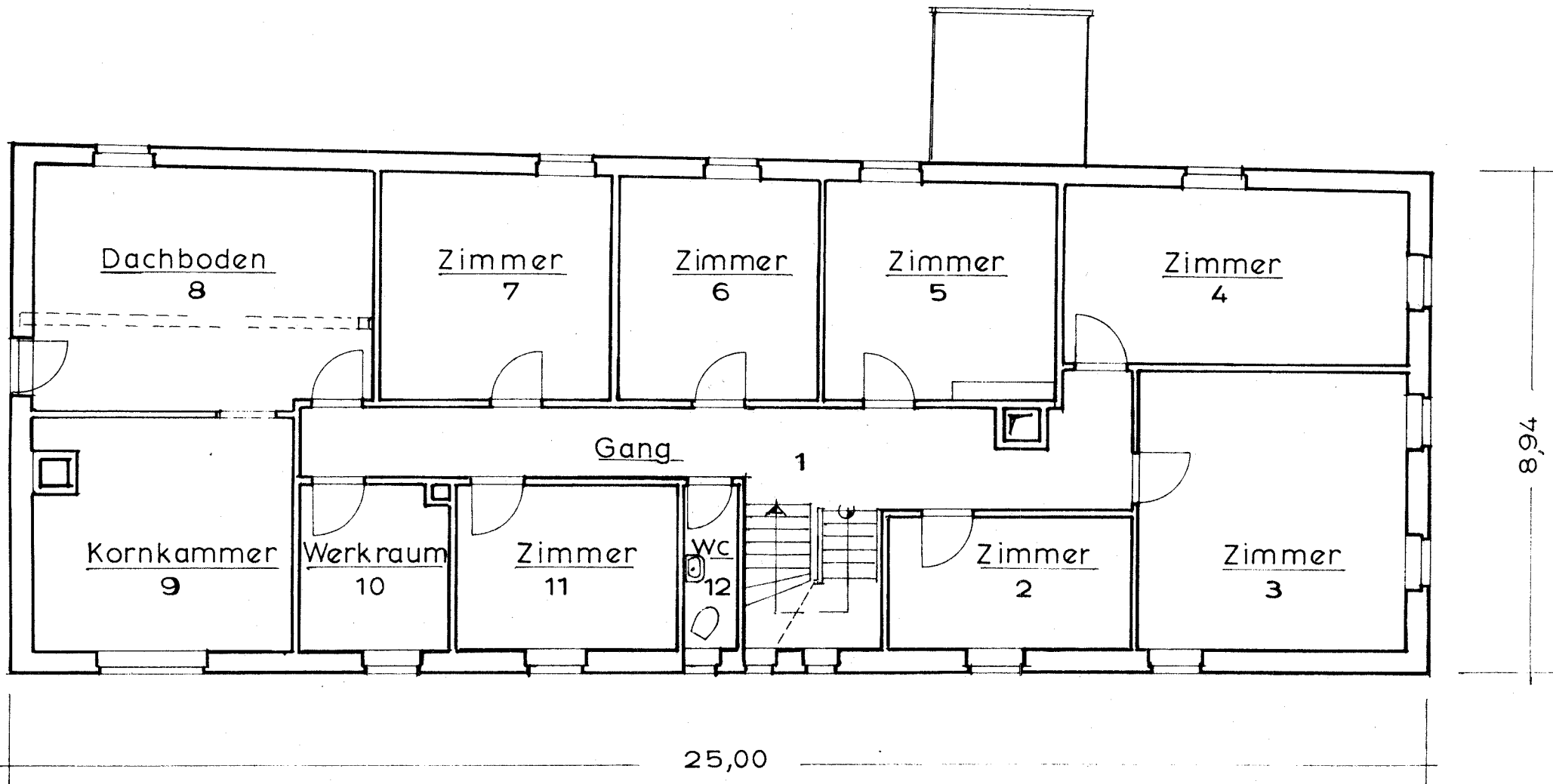
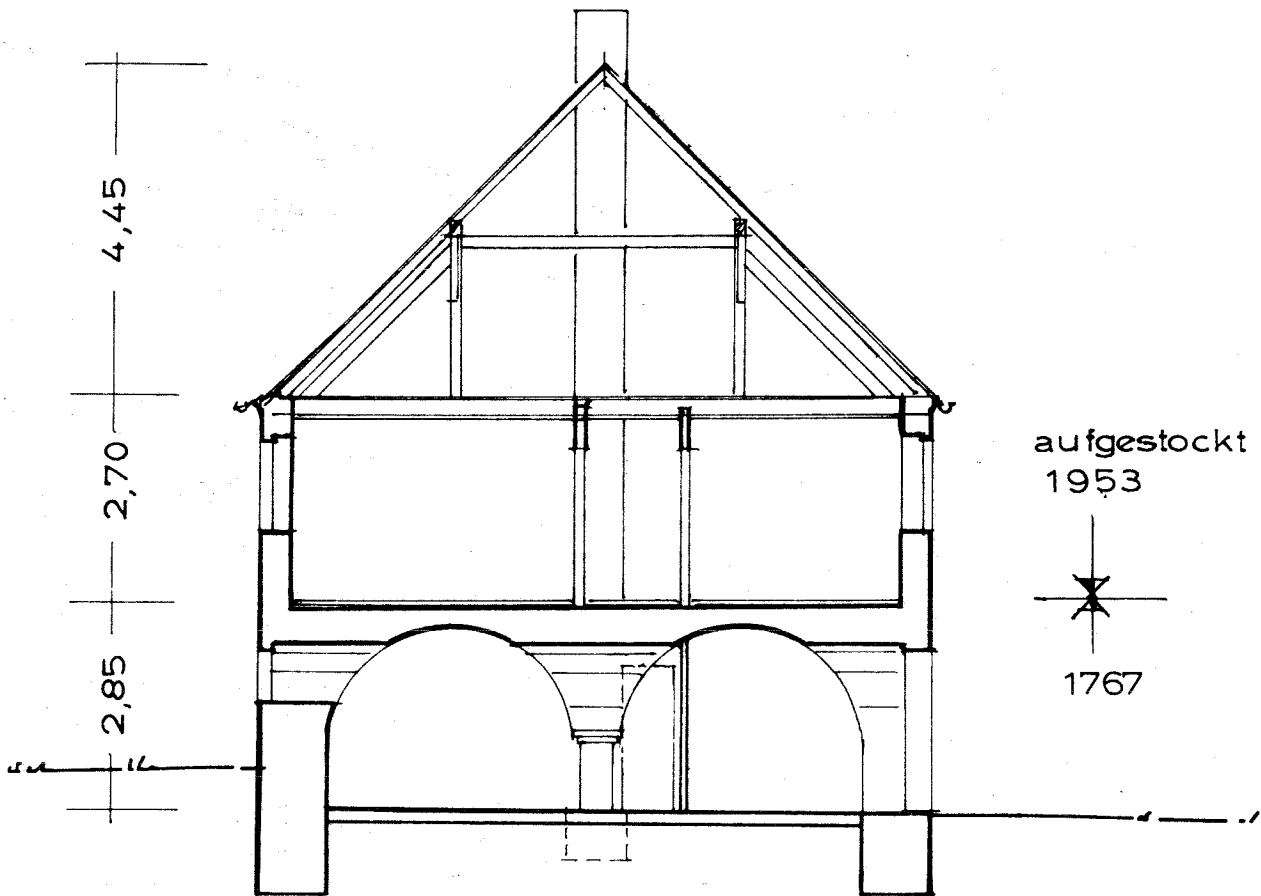


Bild Nr. A16: Standort A, Haus Nr. 08:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100



SCHNITT A-B

Bild Nr. A17: Standort A, Haus Nr. 08:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

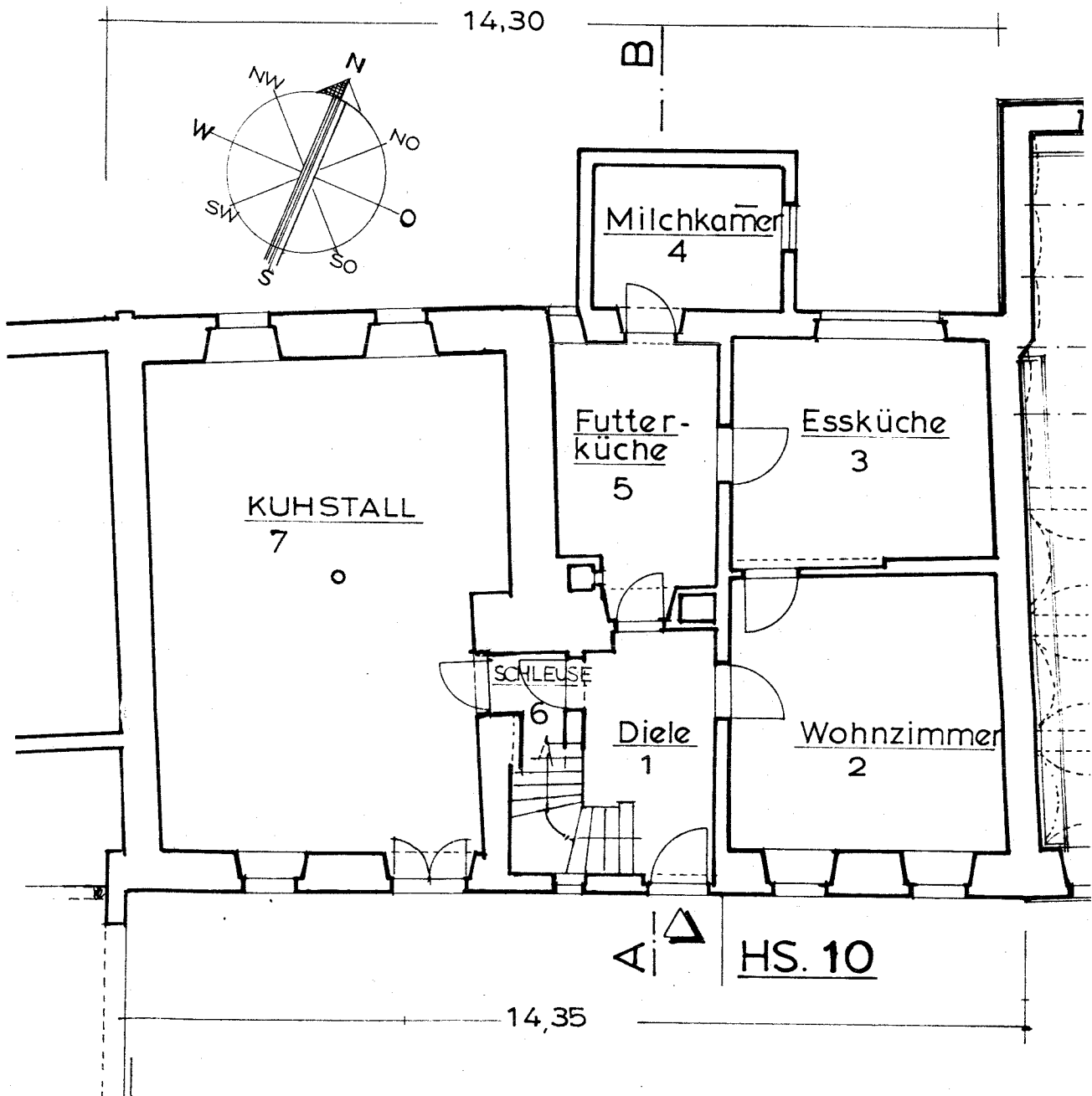


Bild Nr. A18: Standort A, Haus Nr. 10:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100



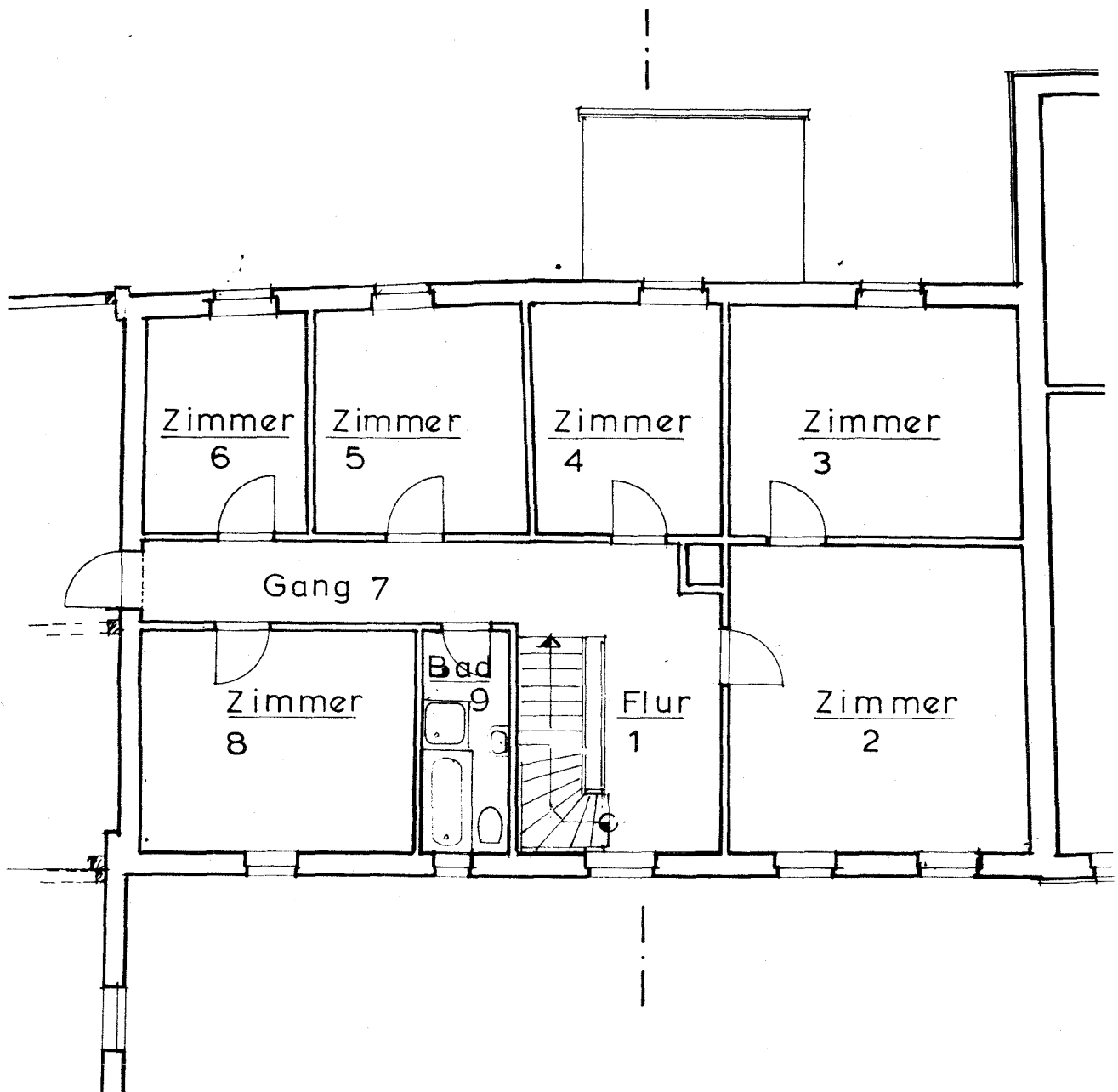
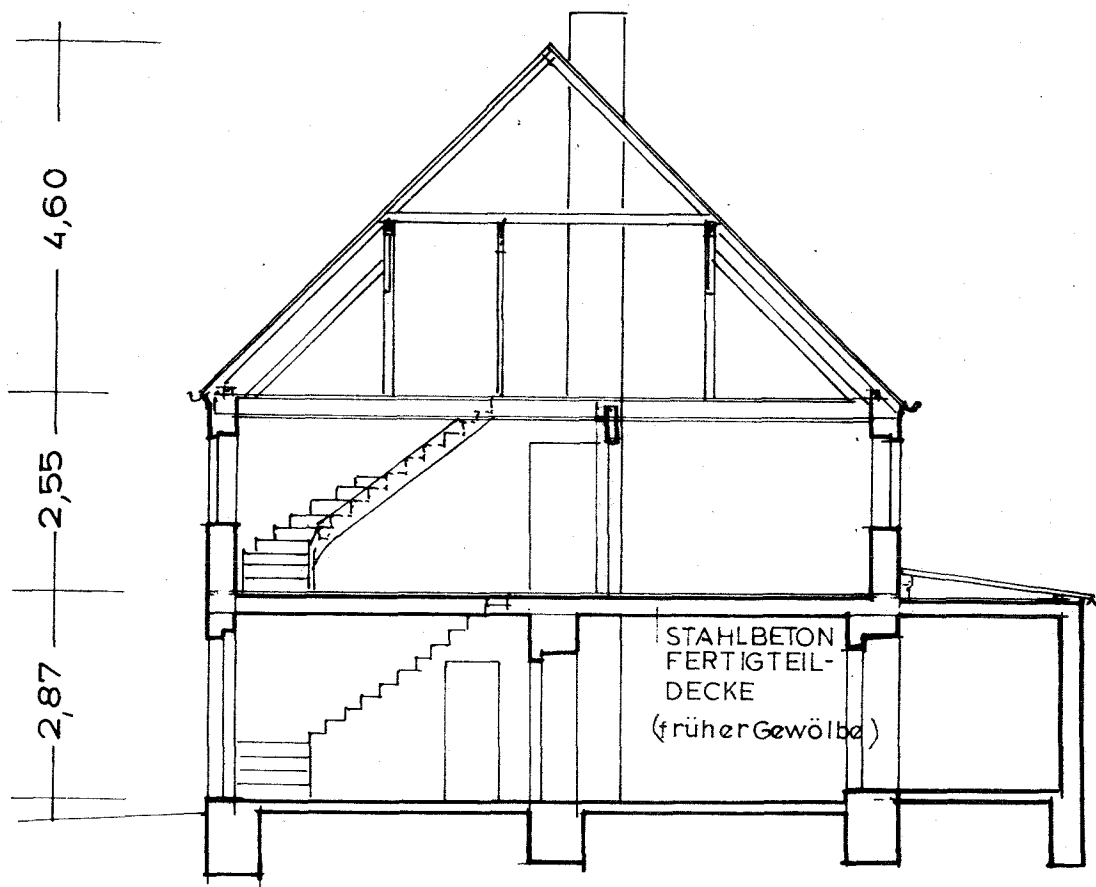


Bild Nr. A19: Standort A, Haus Nr. 10:  
Grundriß des Obergeschosses  
Maßstab 1:100



SCHNITT A - B

Bild Nr. A20: Standort A, Haus Nr. 10:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

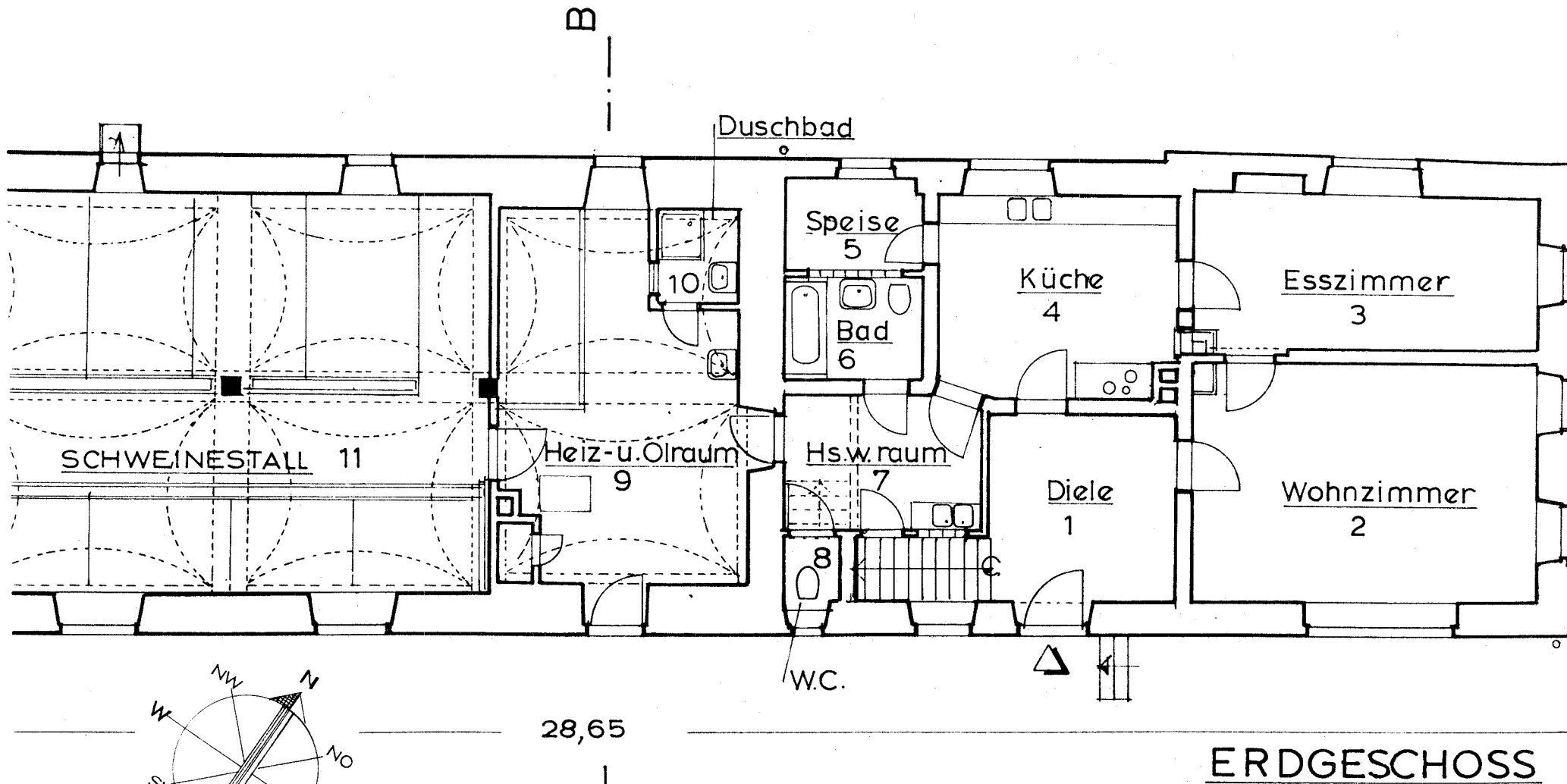
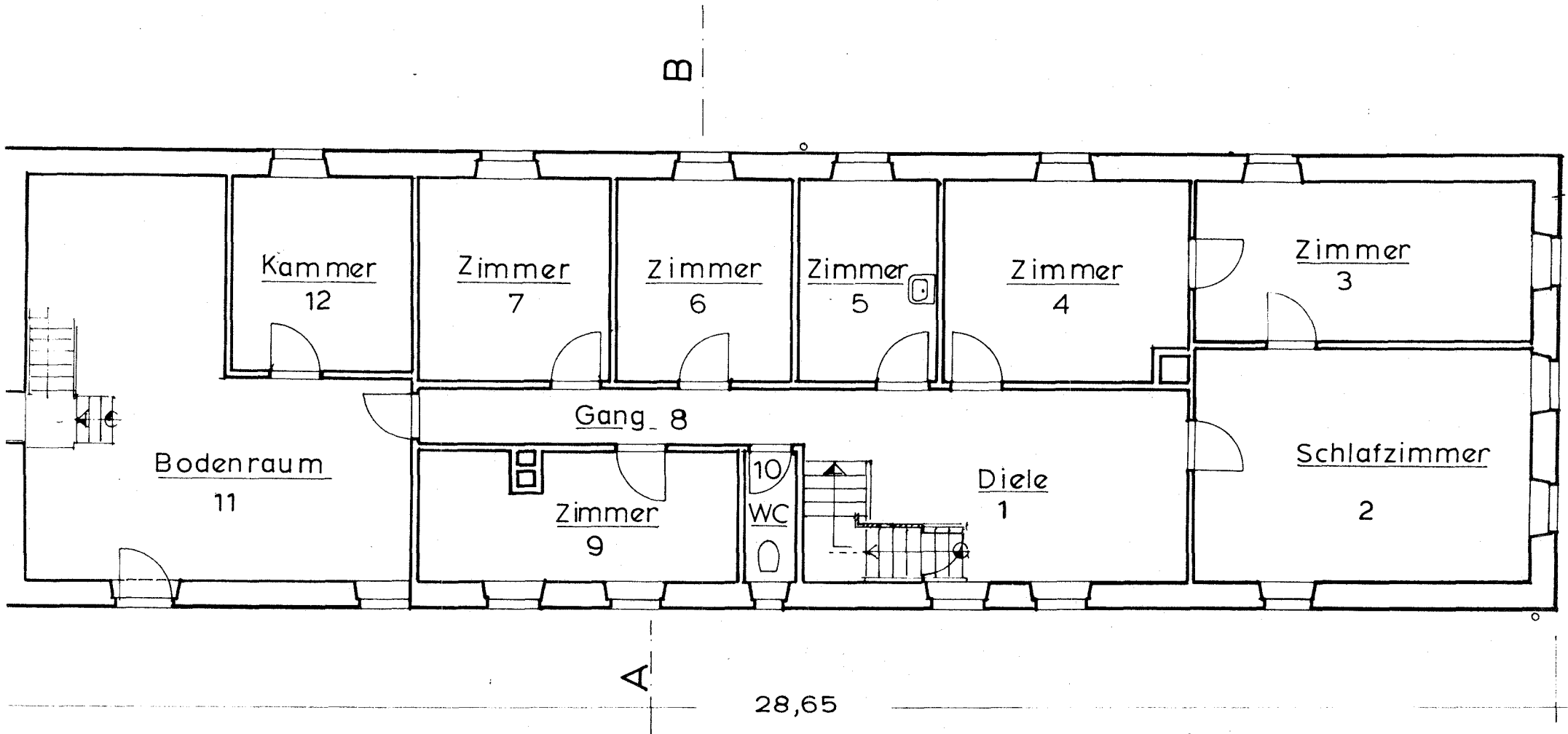


Bild Nr. A21: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100



OBERGECHOSS :

Bild Nr. A22: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100

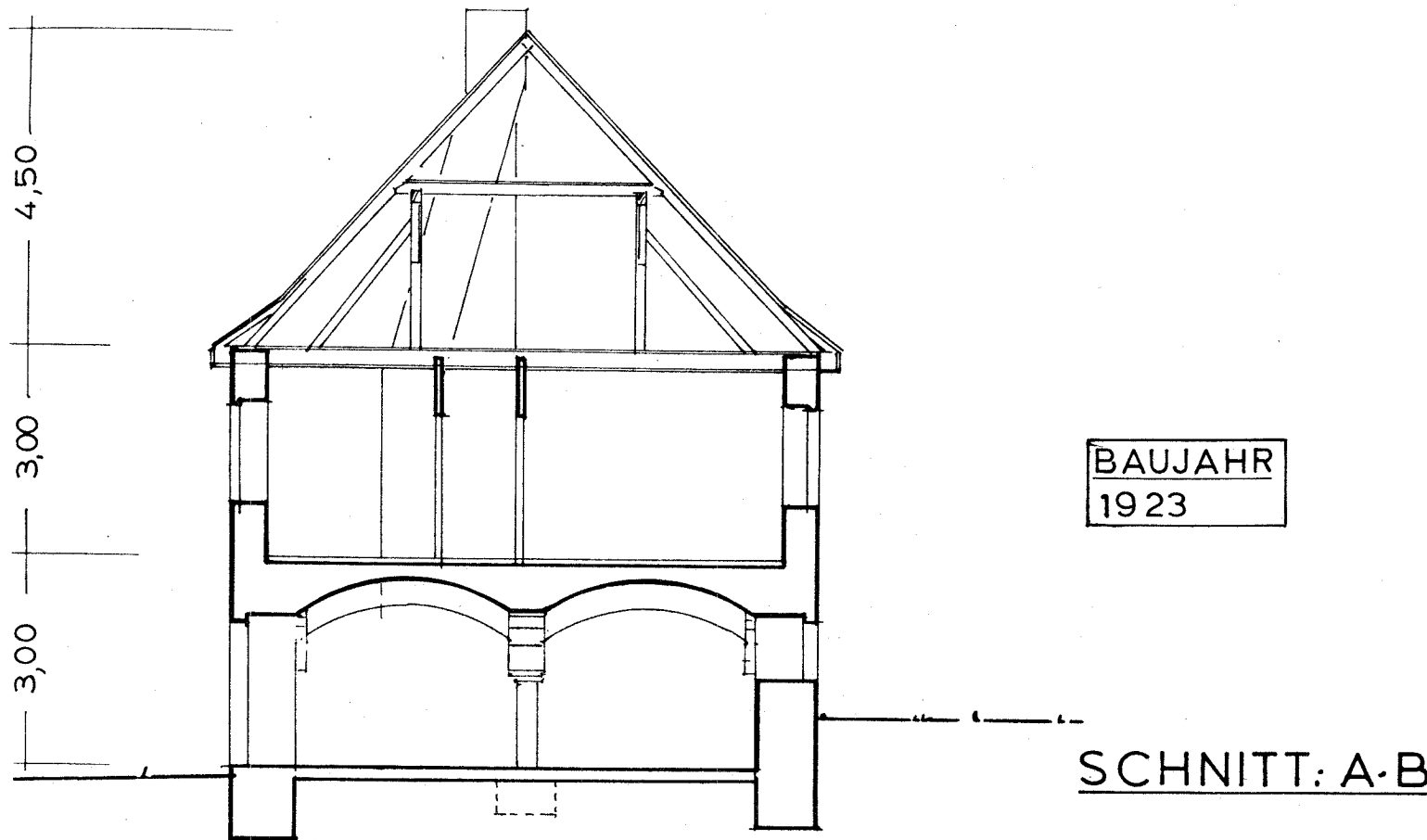


Bild Nr. A23: Standort A, Haus Nr. 11/12:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

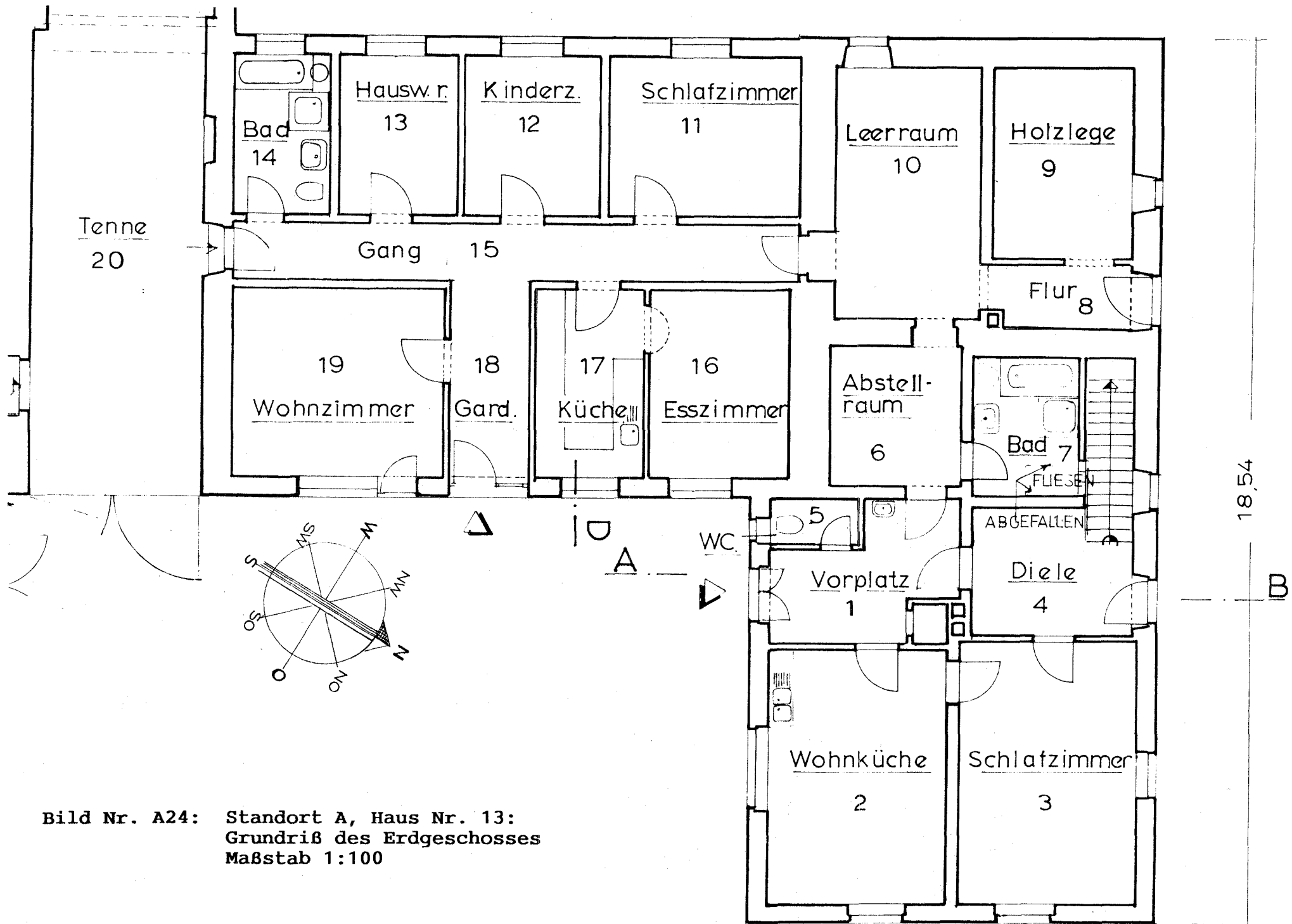
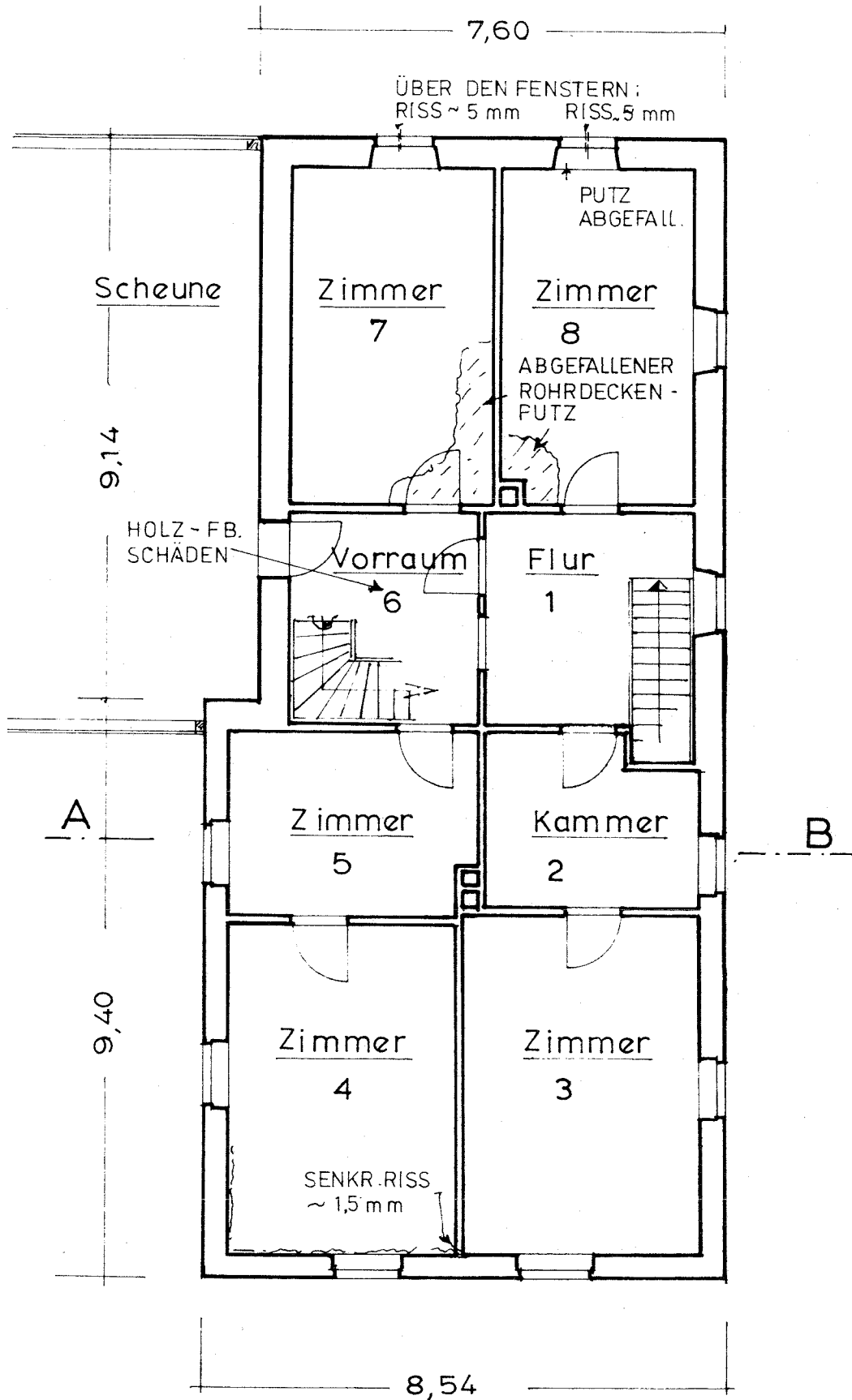


Bild Nr. A24: Standort A, Haus Nr. 13:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100



## OBERGESCHOSS:

Bild Nr. A25: Standort A, Haus Nr. 13:  
Grundriß des Obergeschosses  
Maßstab 1:100

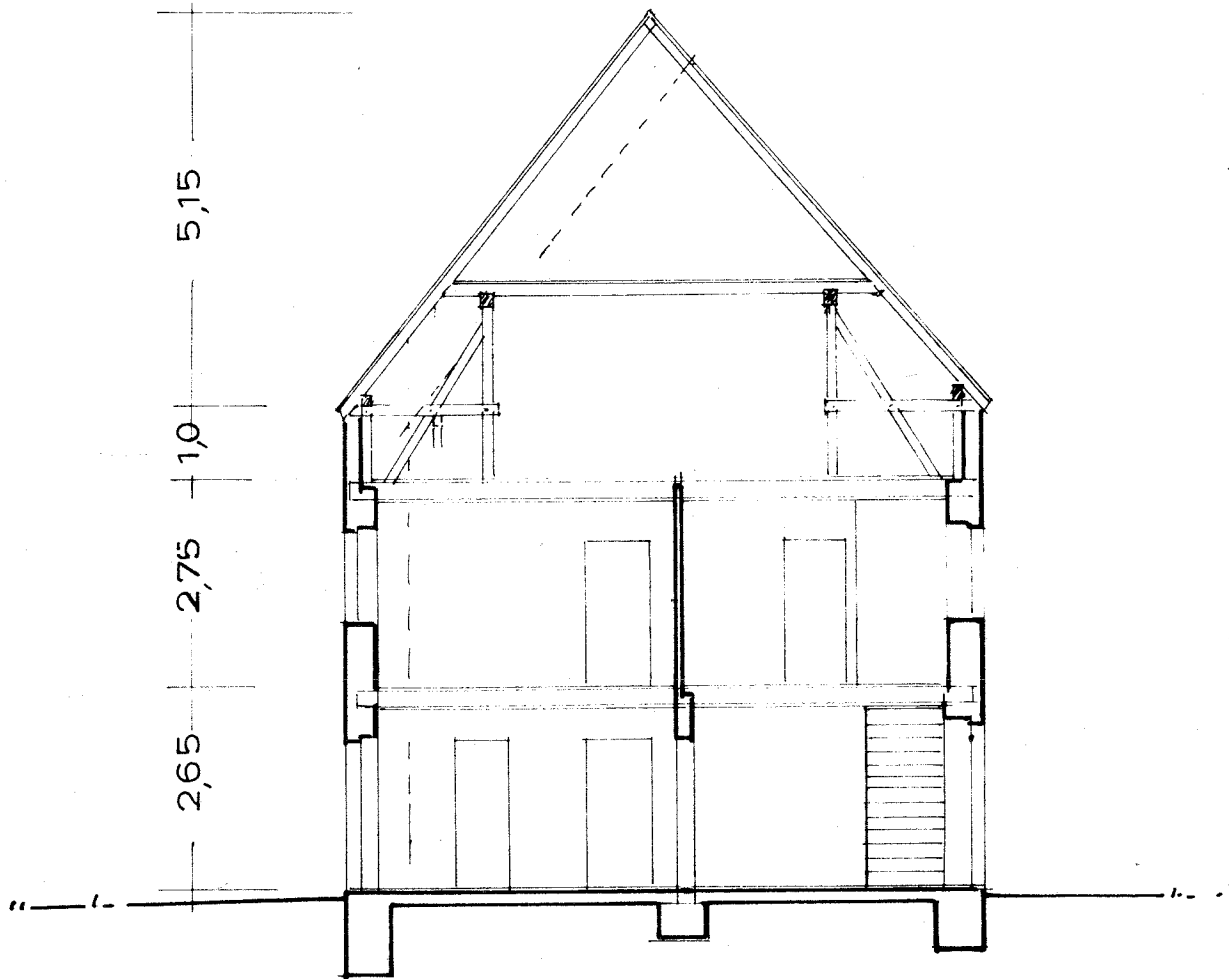


SCHNITT: C-D

S. SO.-ANSICHT

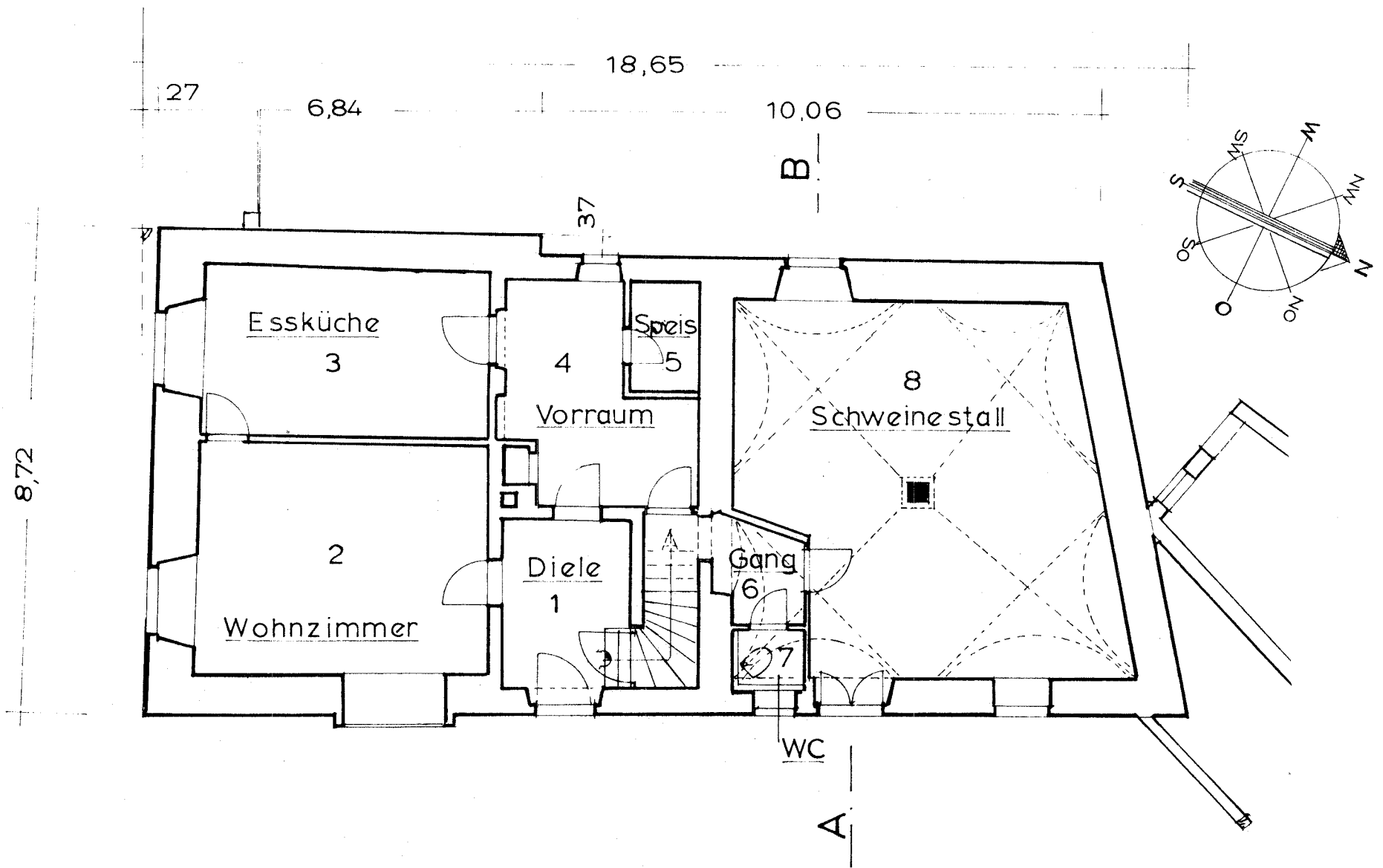
Bild Nr. A26: Standort A, Haus Nr. 13:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



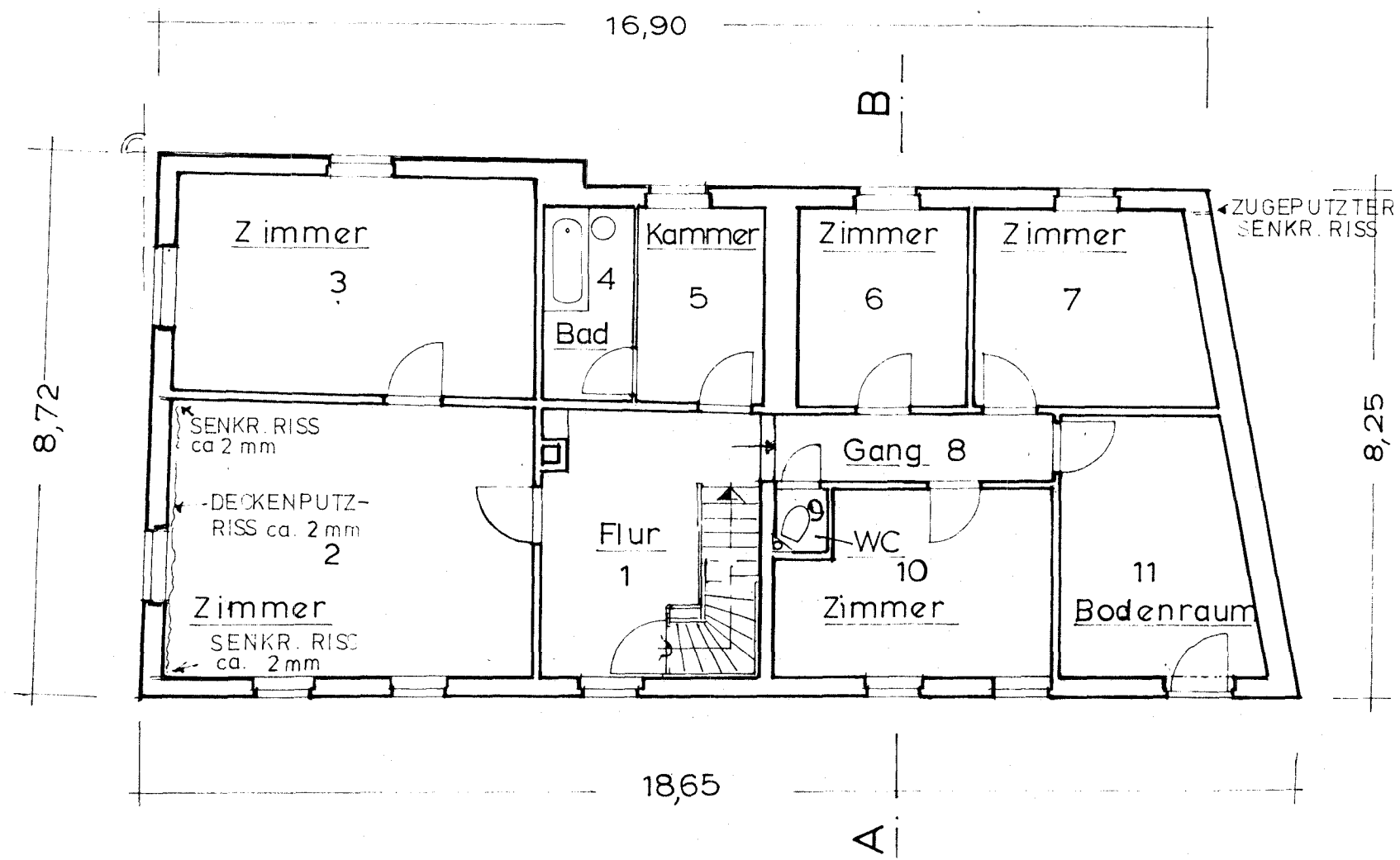


SCHNITT-A-B

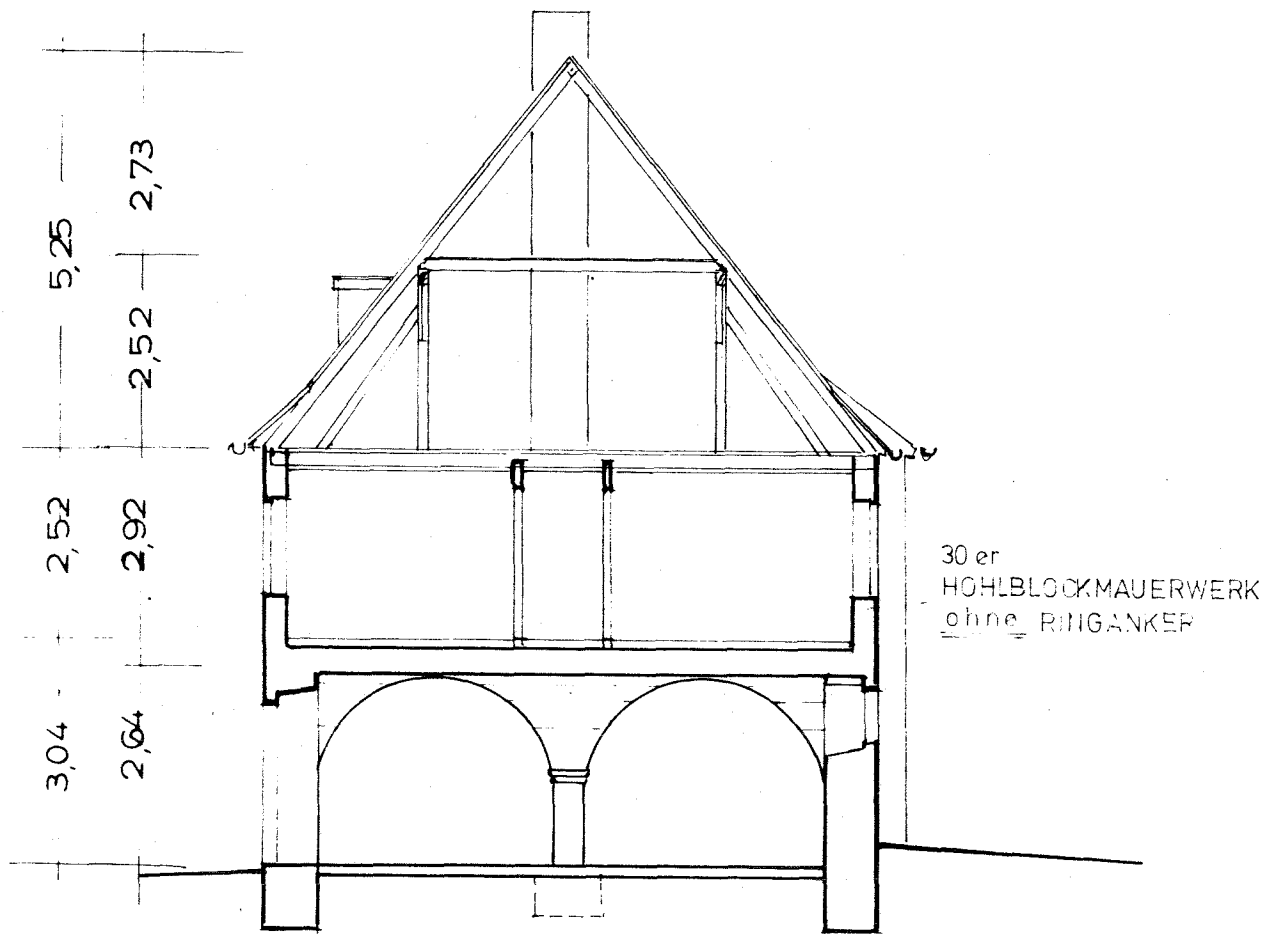
Bild Nr. A27: Standort A, Haus Nr. 13:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



**Bild Nr. A28: Standort A, Haus Nr. 15:  
Grundriß des Erdgeschosses  
Maßstab 1:100**

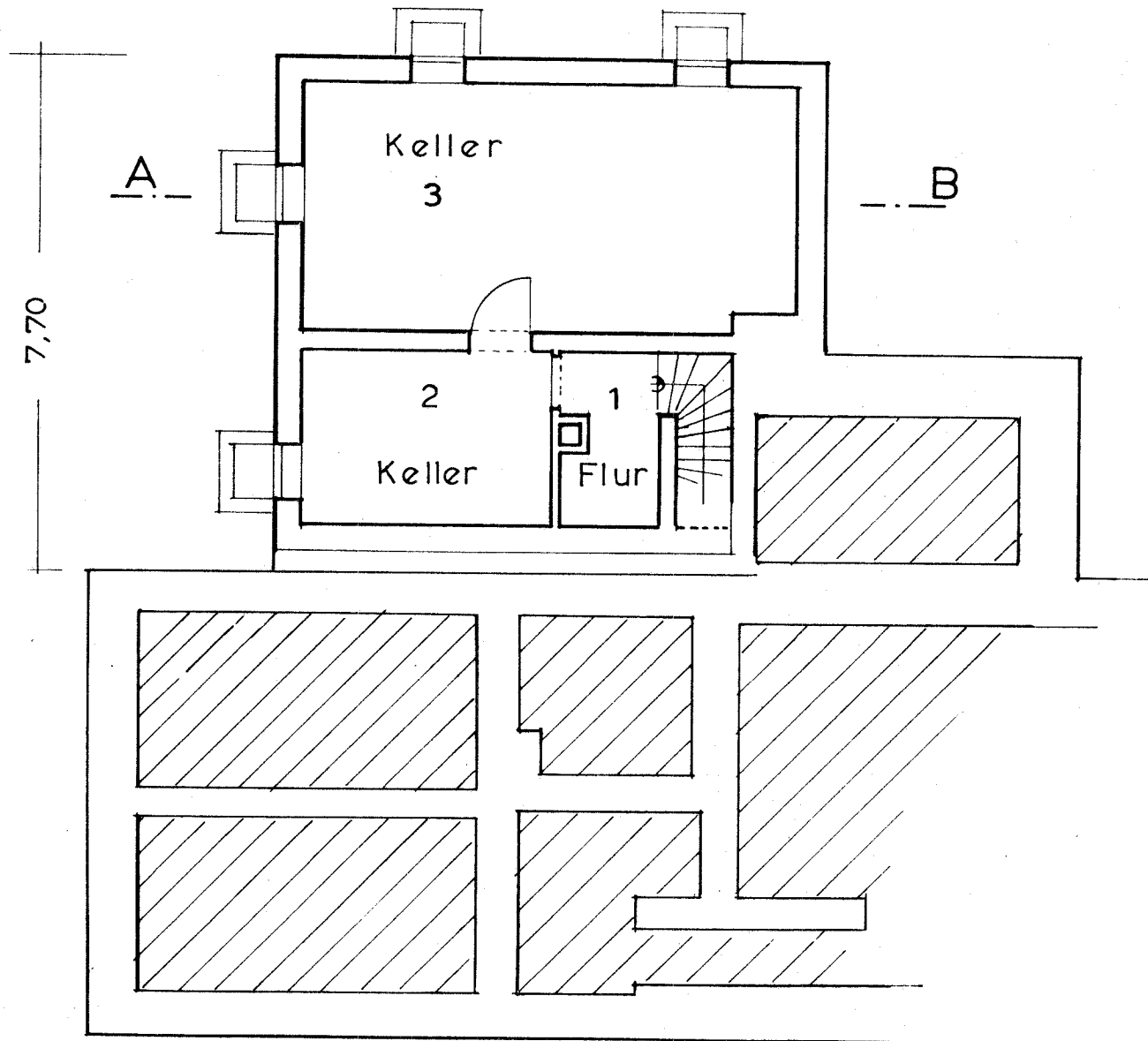


**Bild Nr. A29: Standort A, Haus Nr. 15:  
Grundriß des Obergeschosses  
Maßstab 1:100**



SCHNITT A - B

Bild Nr. A30: Standort A, Haus Nr. 15:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



**Bild Nr. A31: Standort A, Haus Nr. 16:  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100**

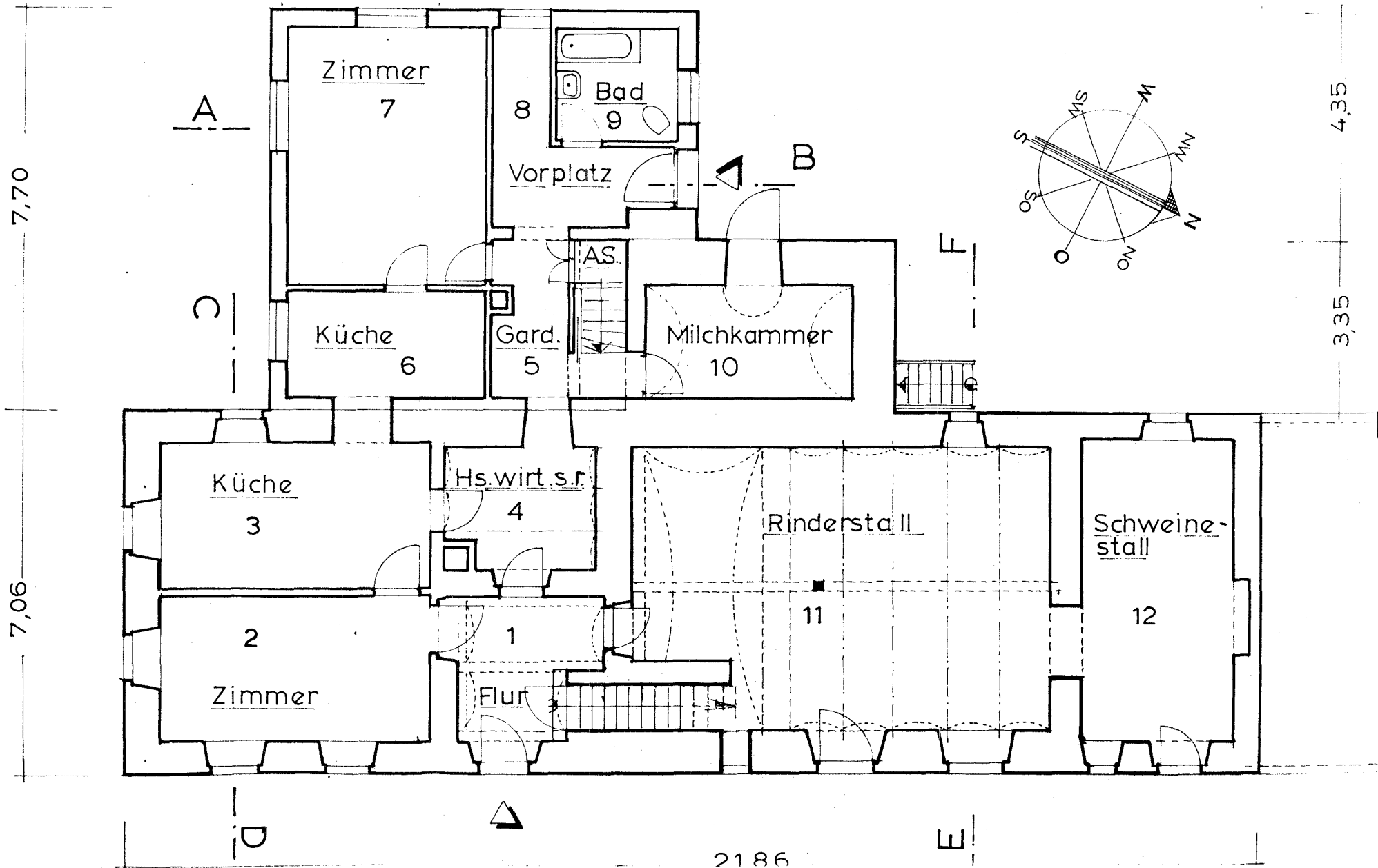


Bild Nr. A32: Standort A, Haus Nr. 16:  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100

2186

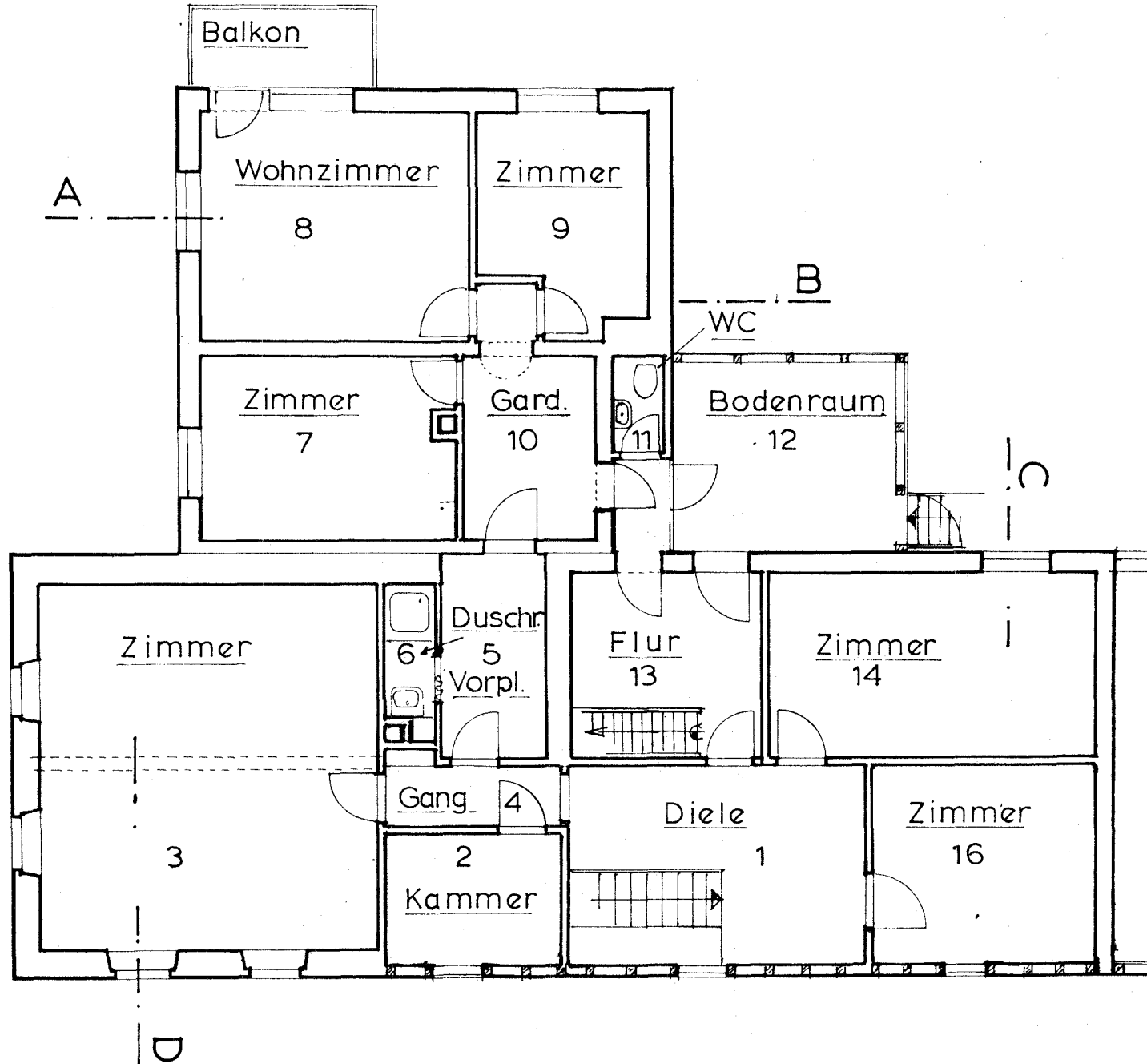
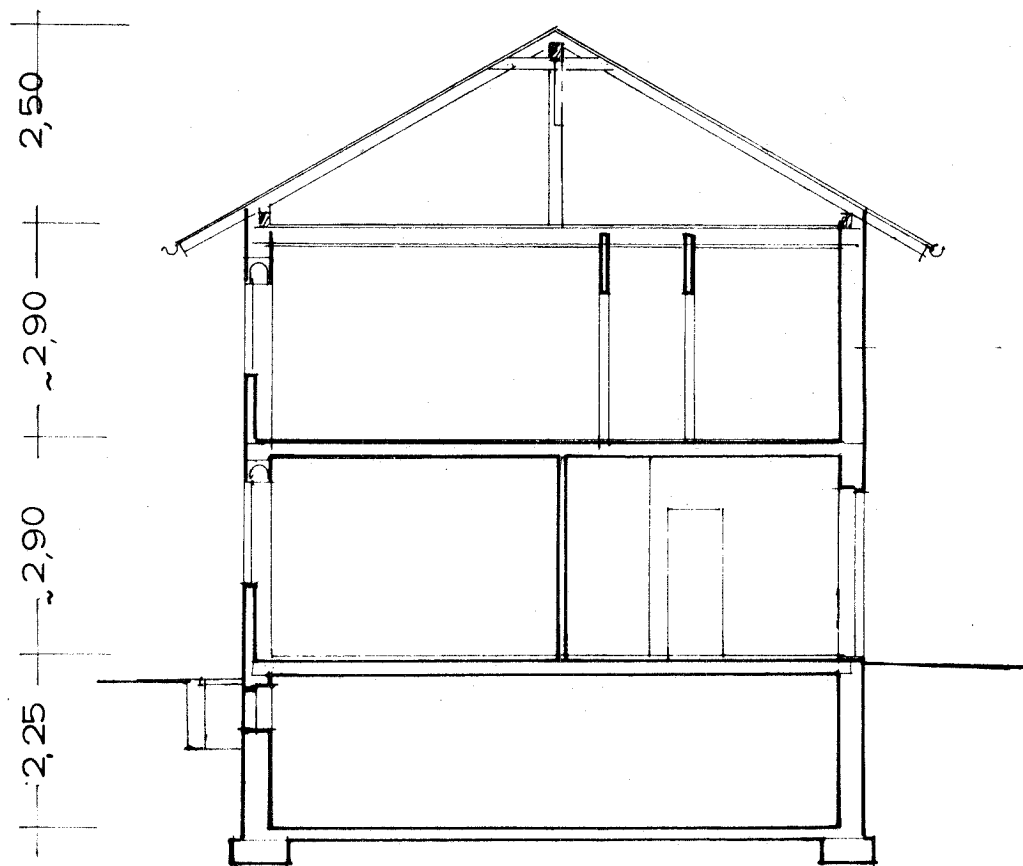


Bild Nr. A33: Standort A, Haus Nr. 16:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100



1970 angebaut

SCHNITT A - B

Bild Nr. A34: Standort A, Haus Nr. 16:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



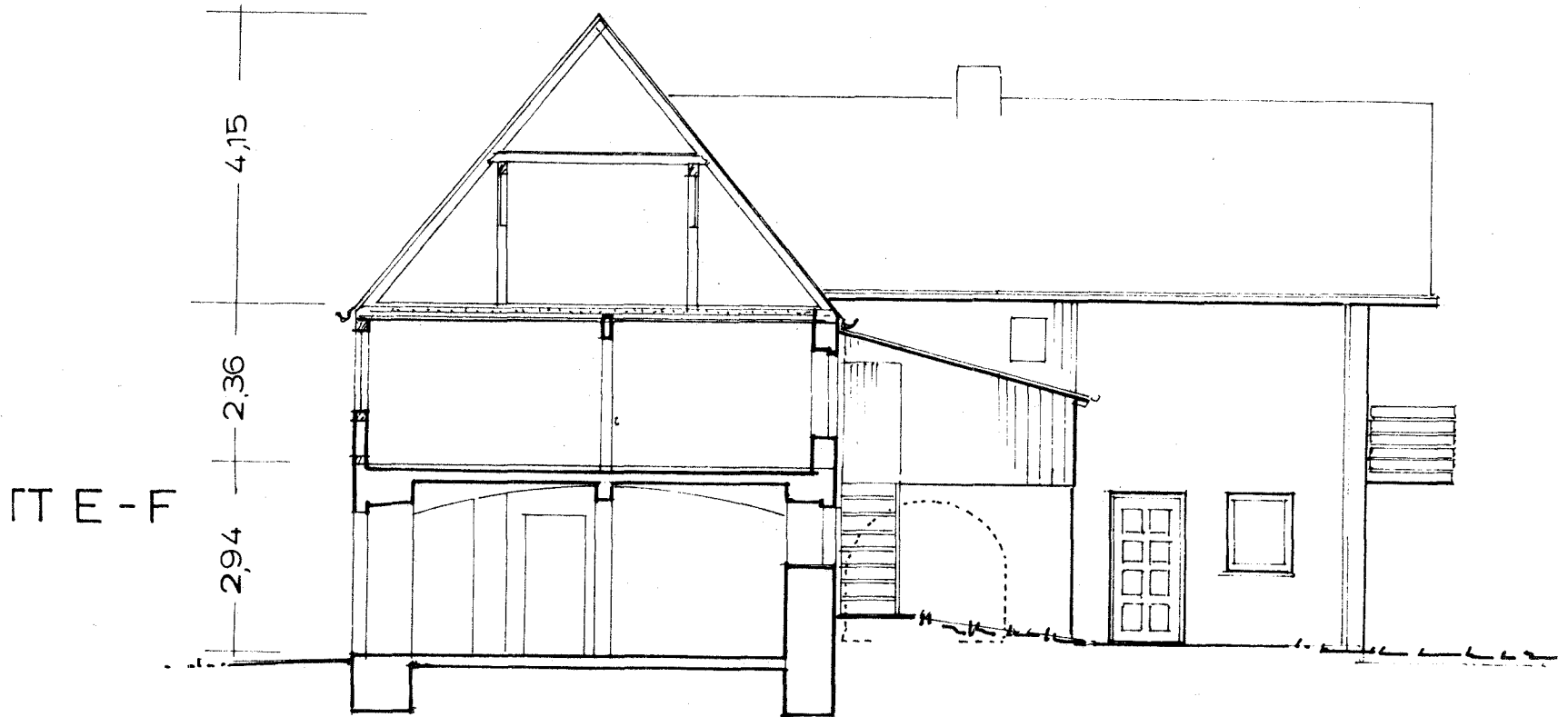
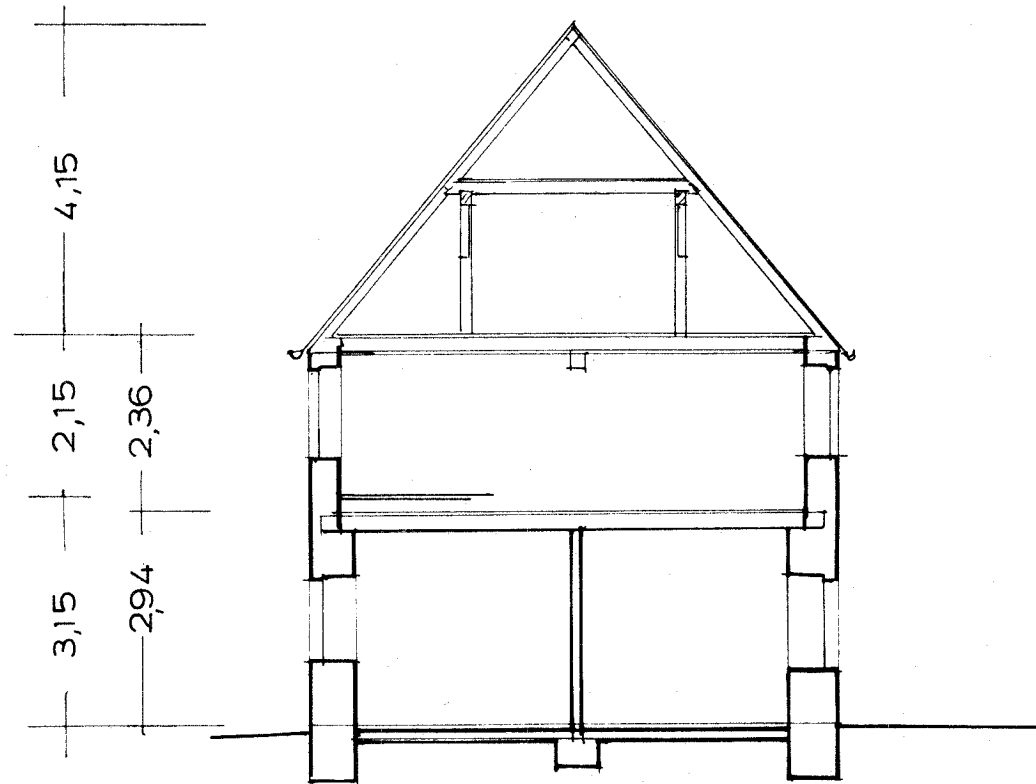
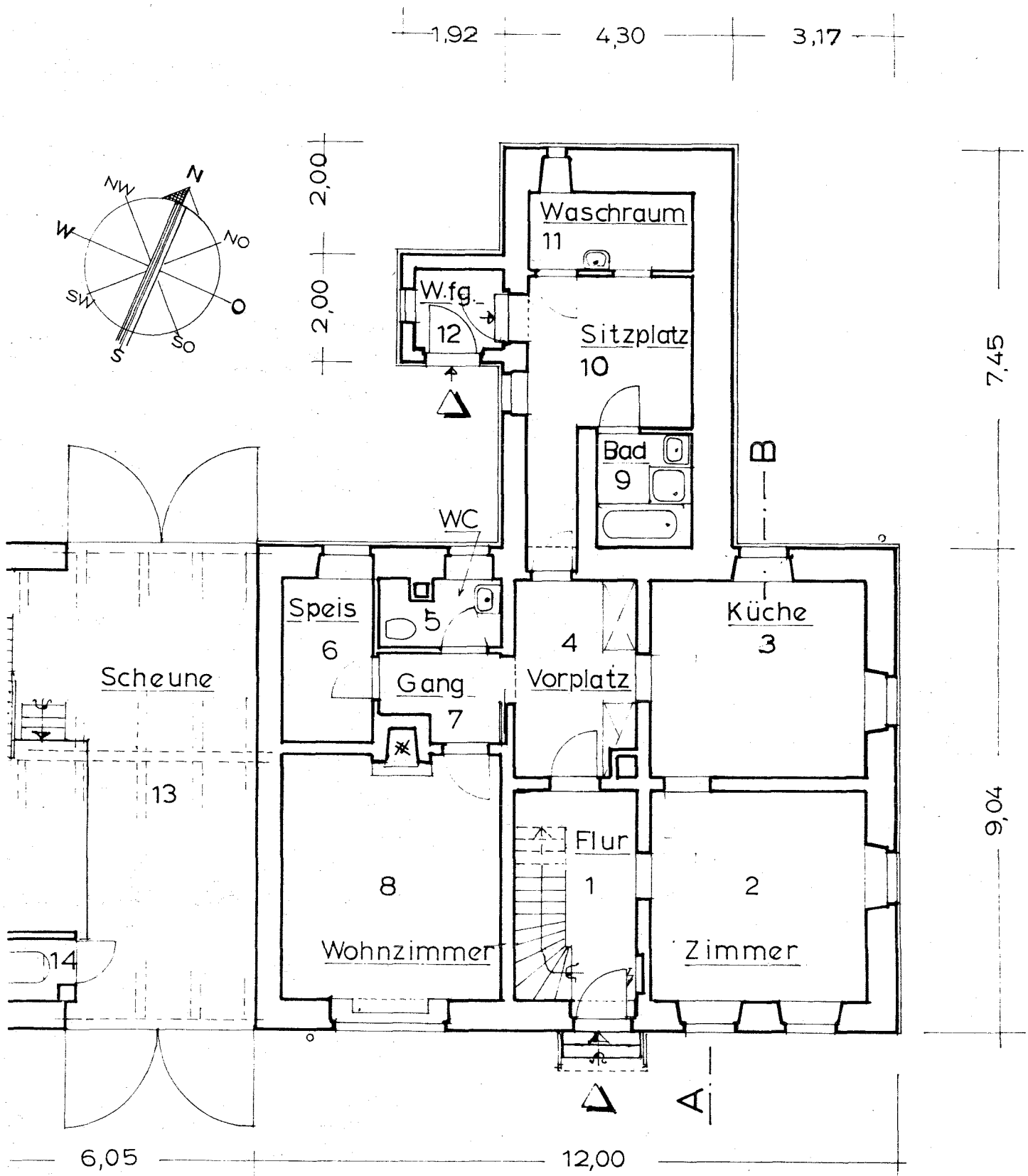


Bild Nr. A35: Standort A, Haus Nr. 16:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100

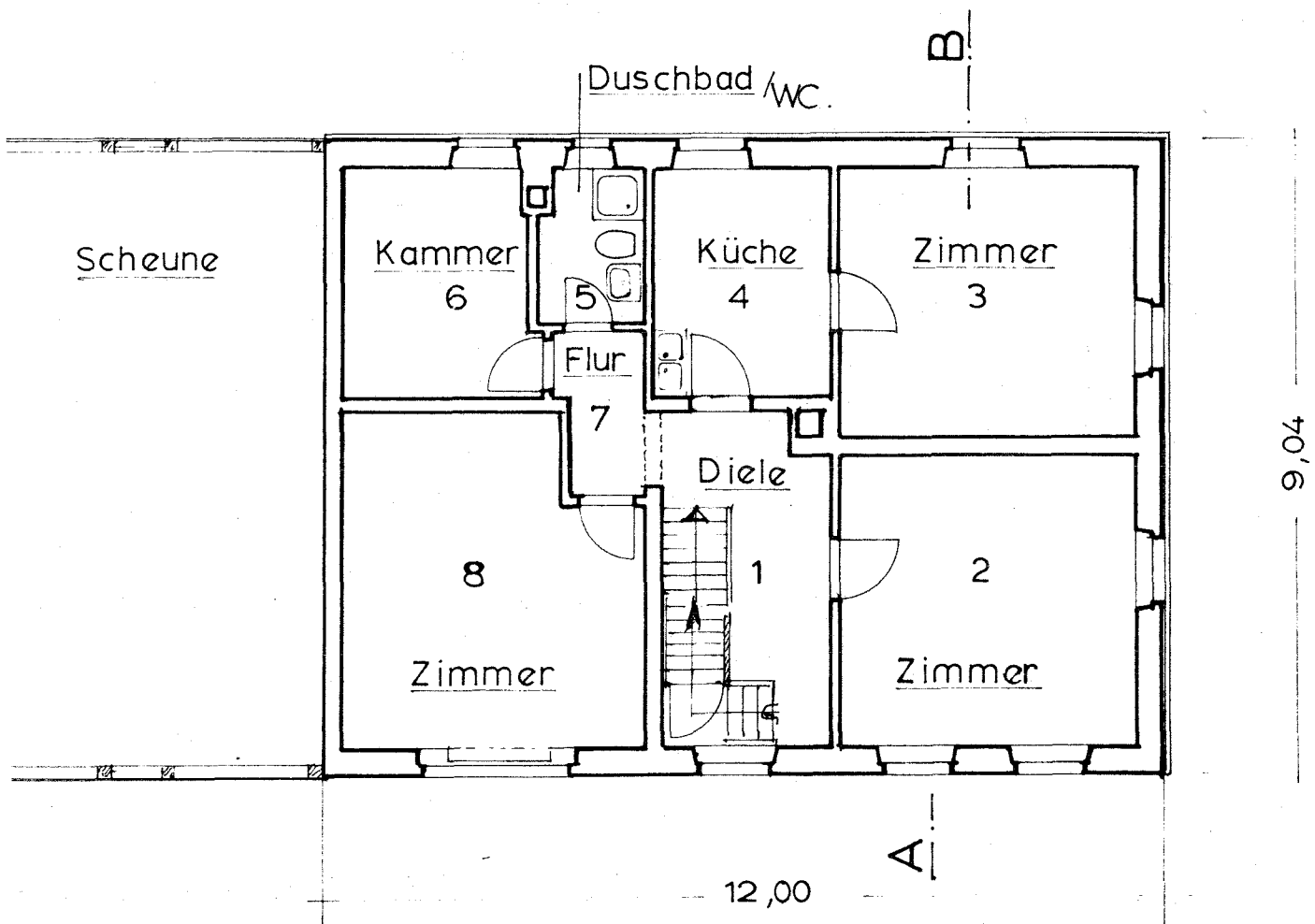


**Bild Nr. A36: Standort A, Haus Nr. 16:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100**



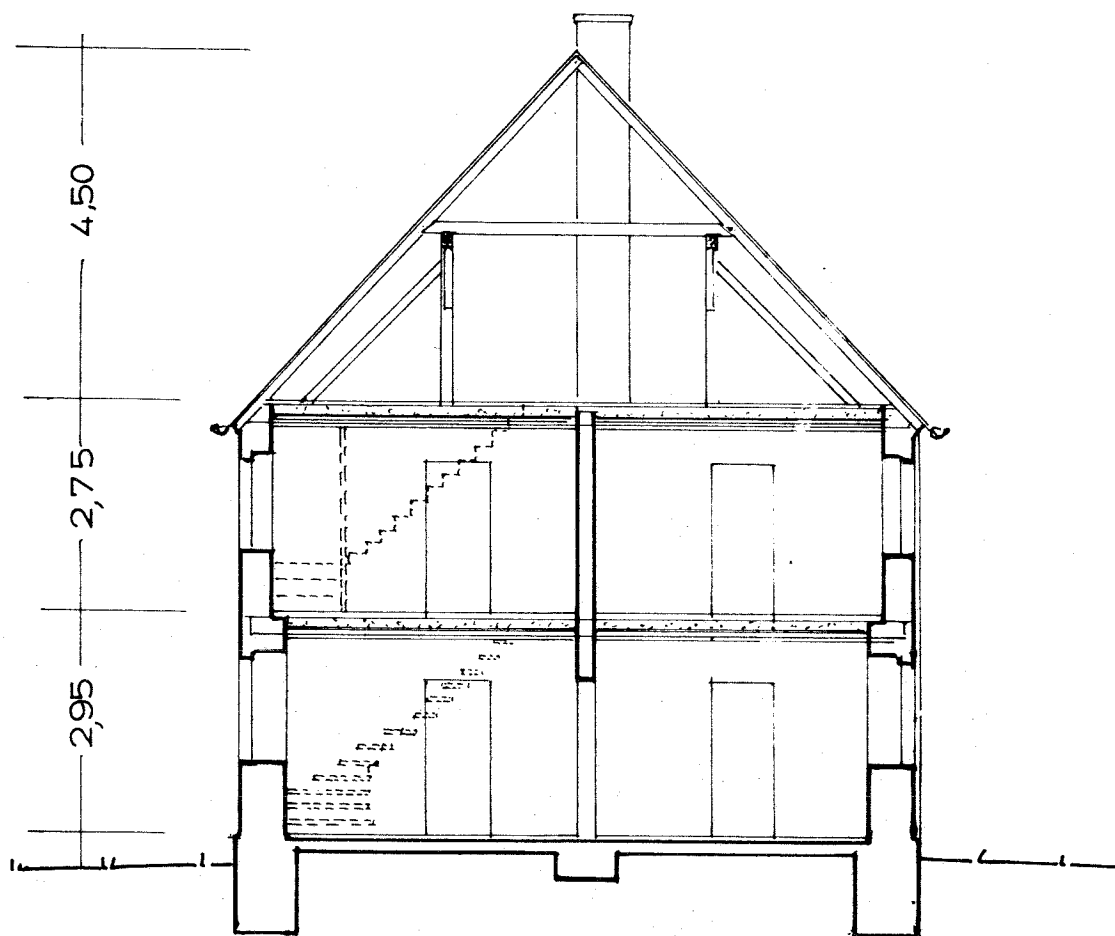
**ERDGESCHOSS**

**Bild Nr. A37: Standort A, Haus Nr. 17:  
Grundriß des Erdgeschosses  
Maßstab 1:100**



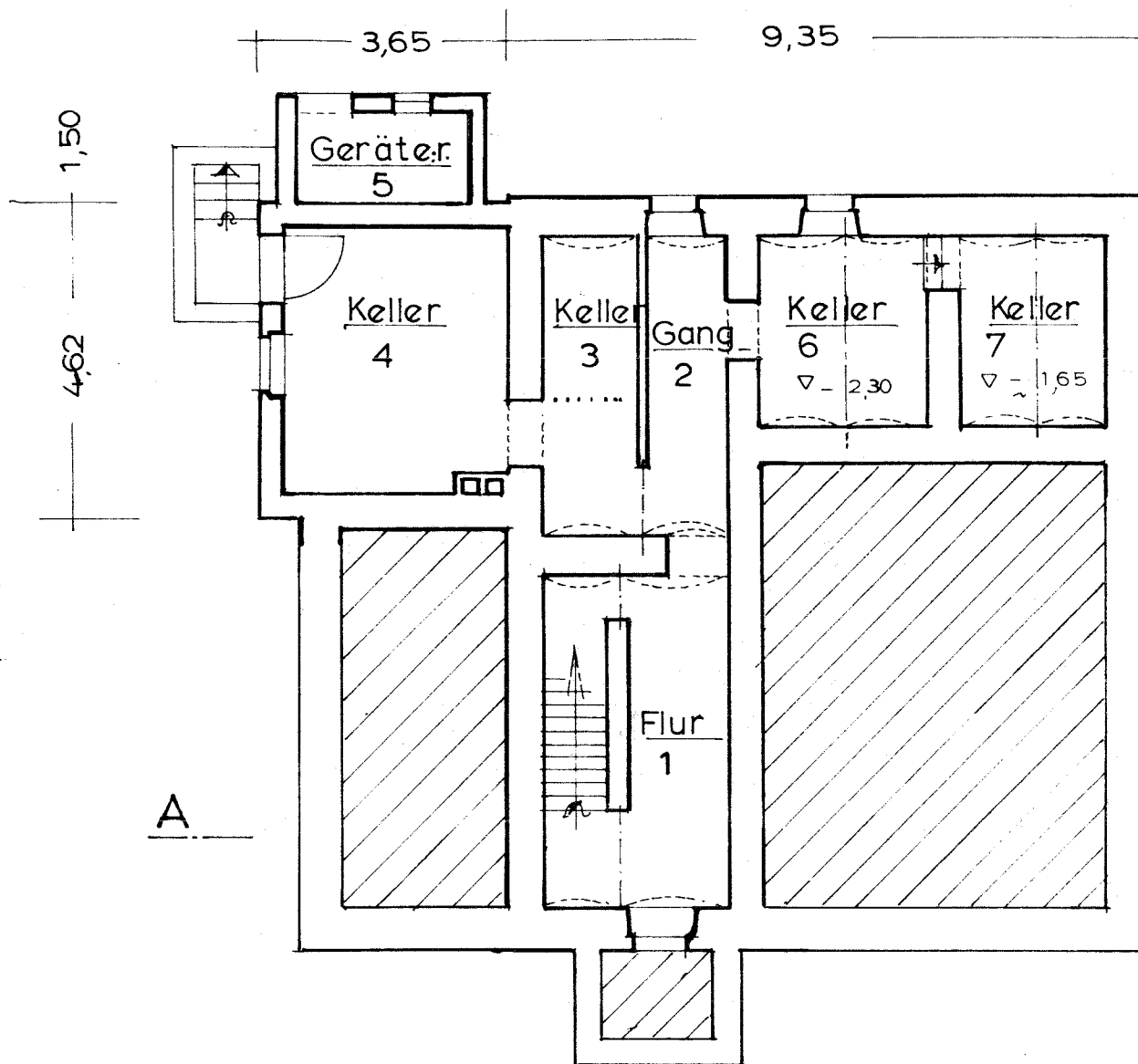
OBERGECHOSS

Bild Nr. A38: Standort A, Haus Nr. 17:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100



SCHNITT A - B

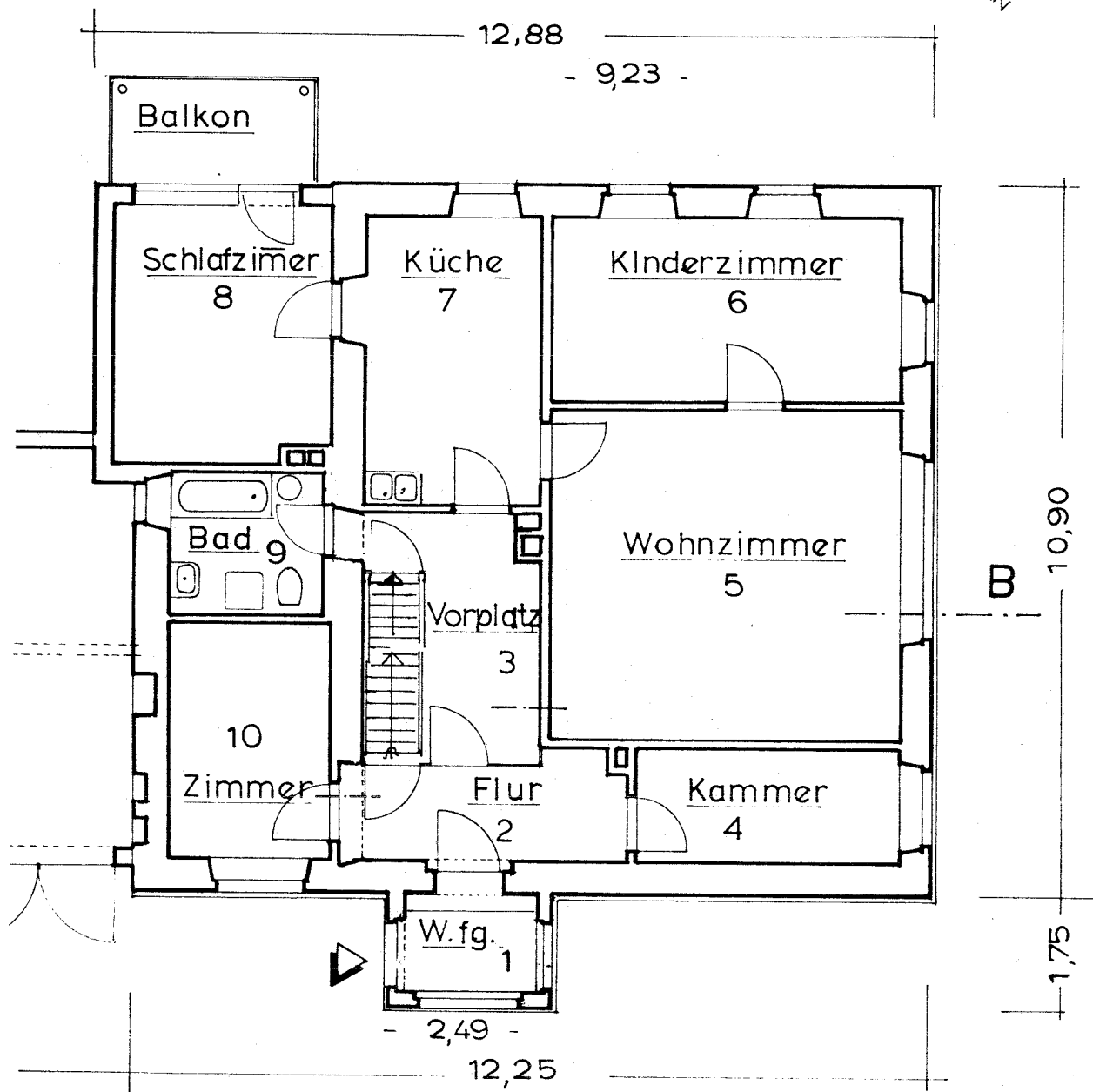
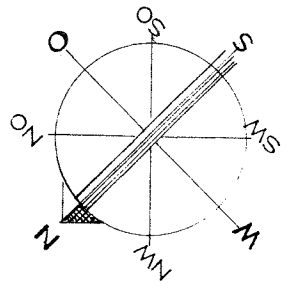
Bild Nr. A39: Standort A, Haus Nr. 17:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



DAS GEBÄUDE STEHT AN  
DER SÜDECKE (RAUM 7)  
AUF FELSEN !

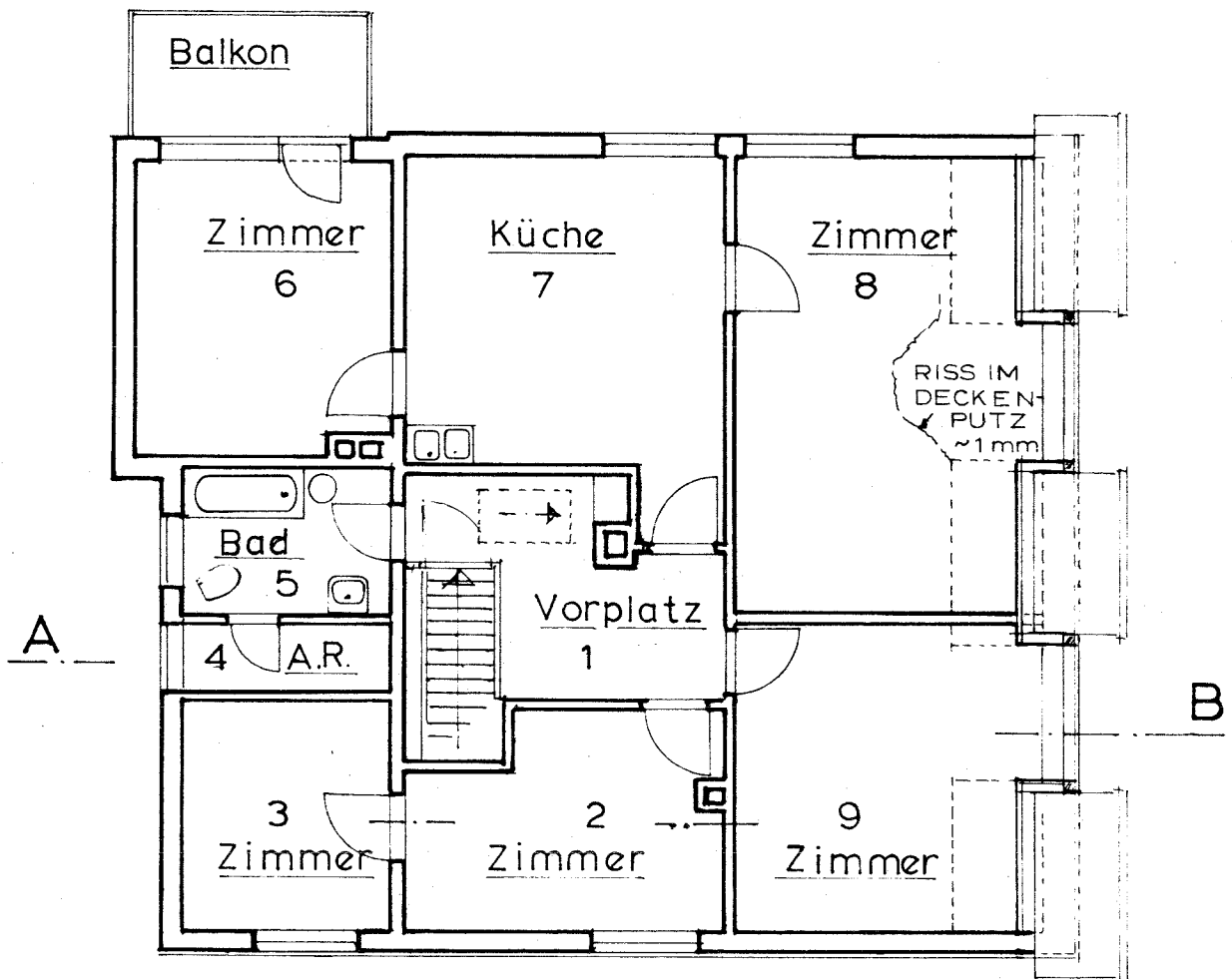
## KELLERGESCHOSS

Bild Nr. A40: Standort A, Haus Nr. 22:  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100



## ERDGESCHOSS

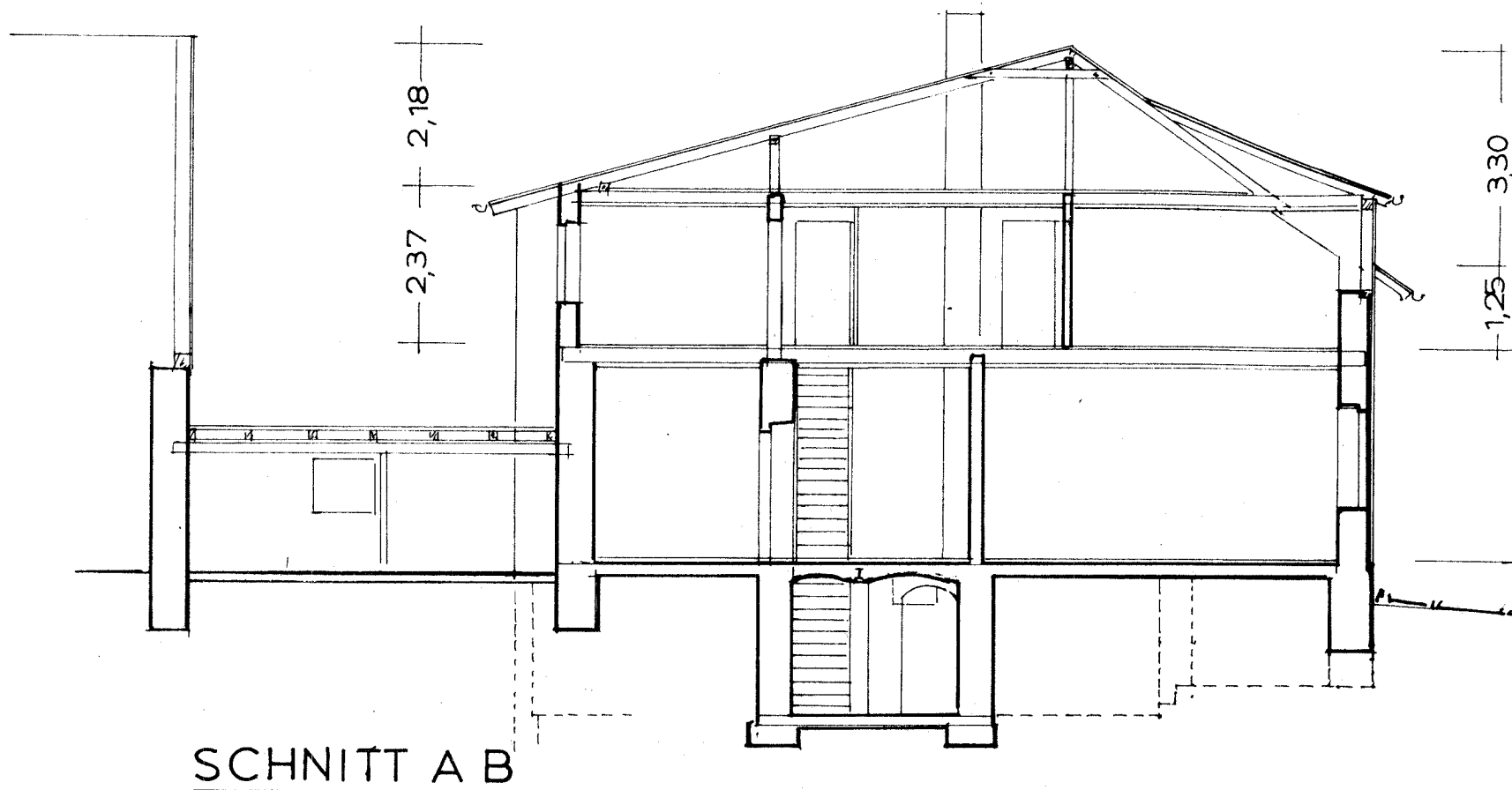
**Bild Nr. A41: Standort A, Haus Nr. 22:  
Grundriß des Erdgeschosses  
Maßstab 1:100**



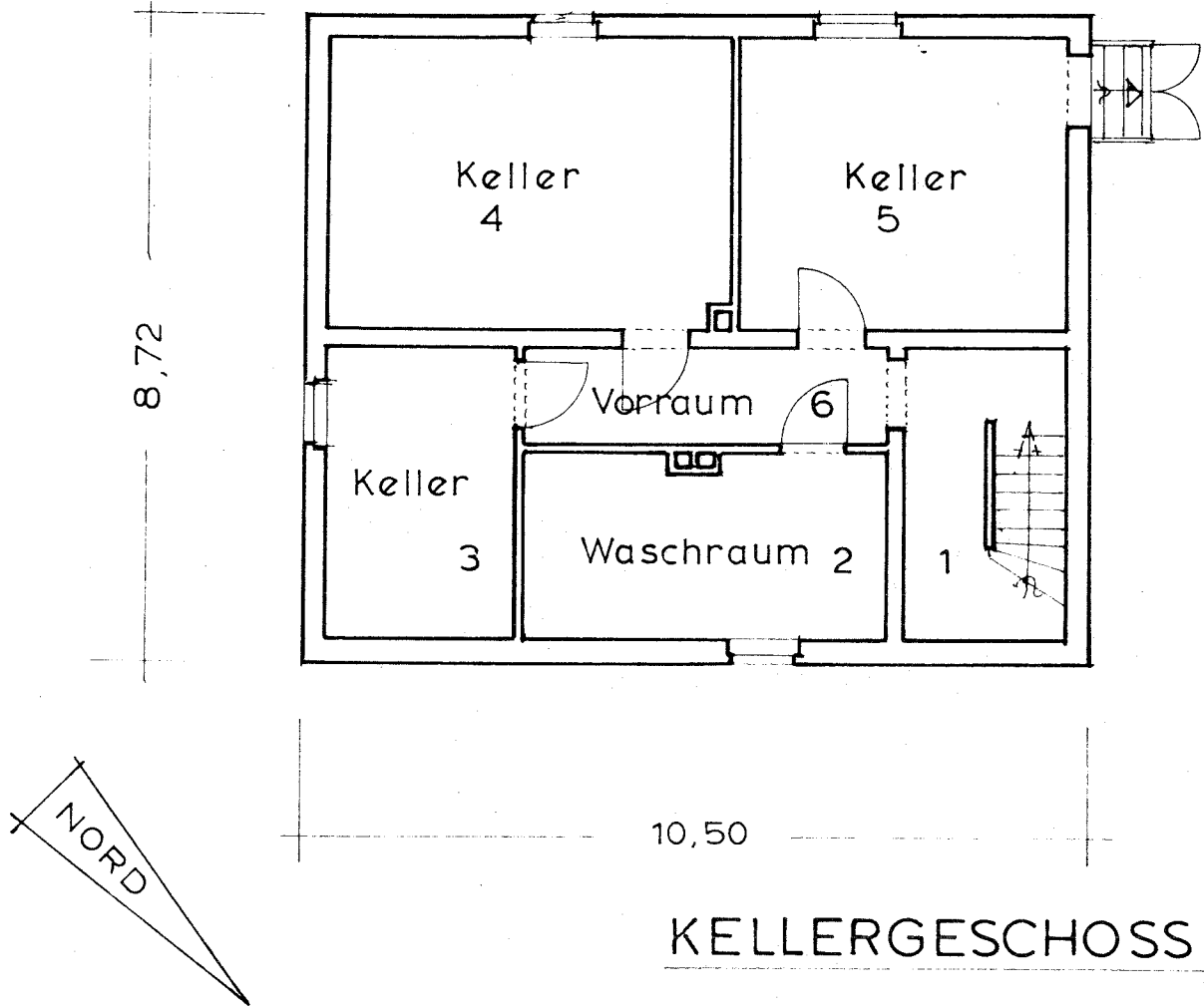
## DACHGESCHOSS

Bild Nr. A42: Standort A, Haus Nr. 22:  
 Grundriß des Obergeschosses  
 Maßstab 1:100

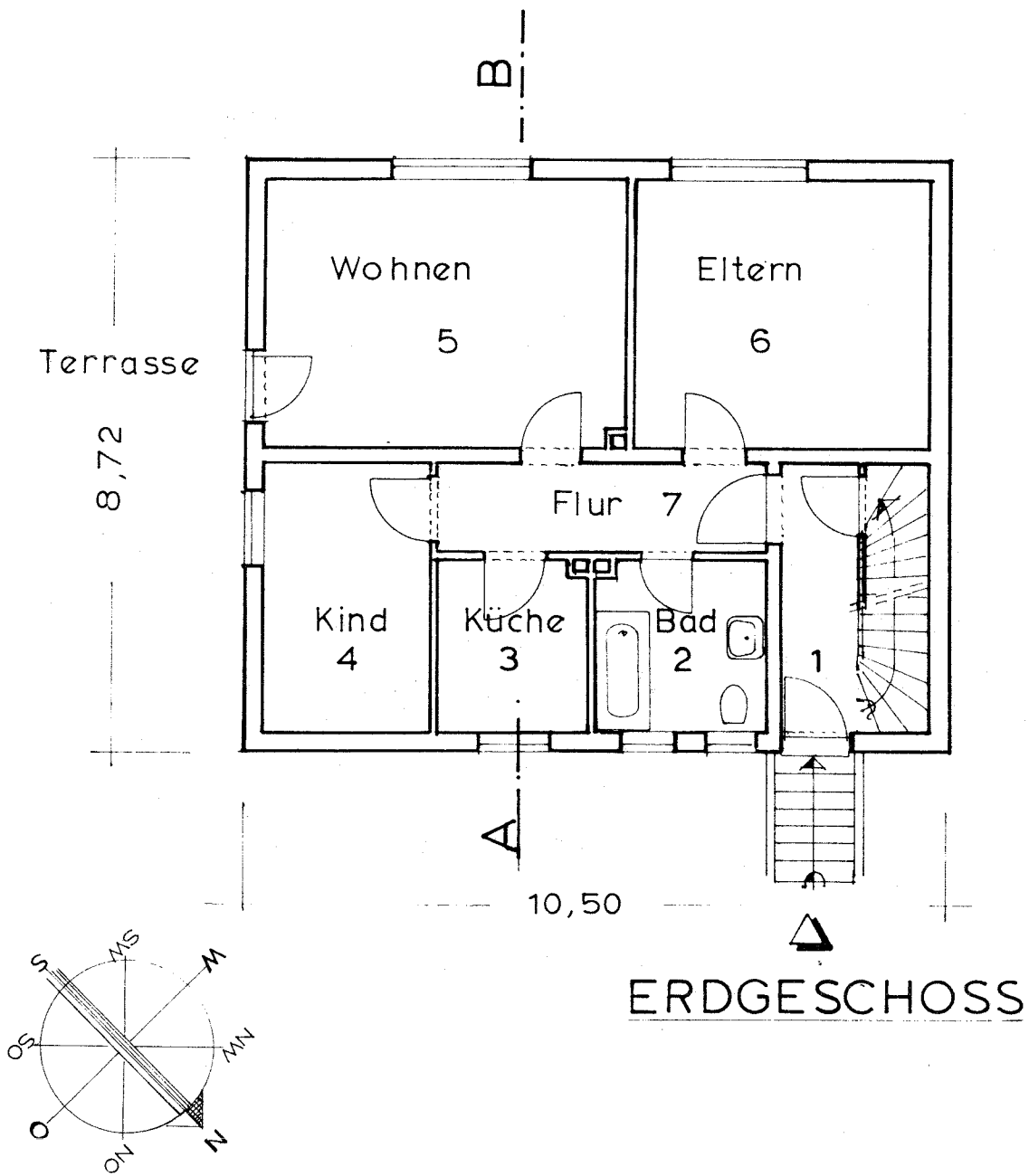




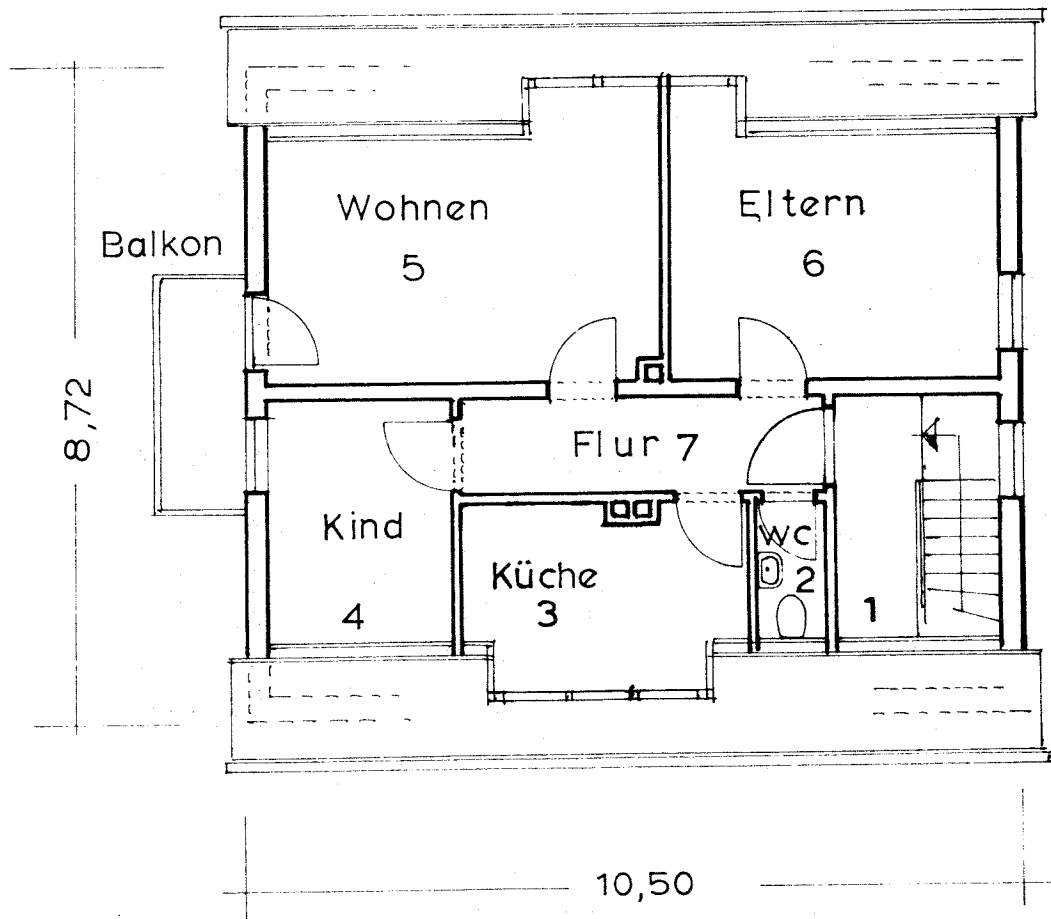
**Bild Nr. A43: Standort A, Haus Nr. 22:  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100**



**Bild Nr. A44: Standort A, Haus Nr. 25 (Altbau):  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100**

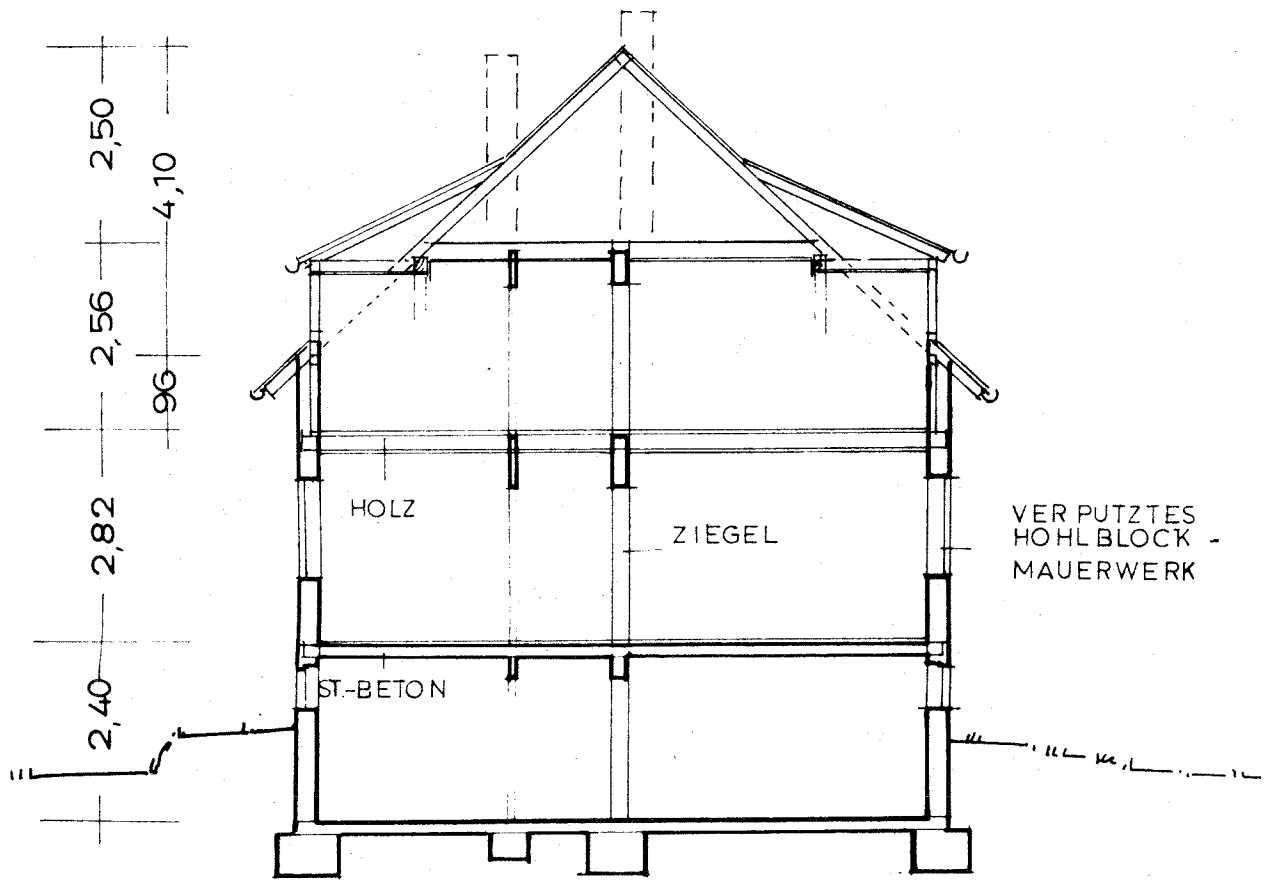


**Bild Nr. A45: Standort A, Haus Nr. 25 (Altbau): Grundriß des Erdgeschosses Maßstab 1:100**



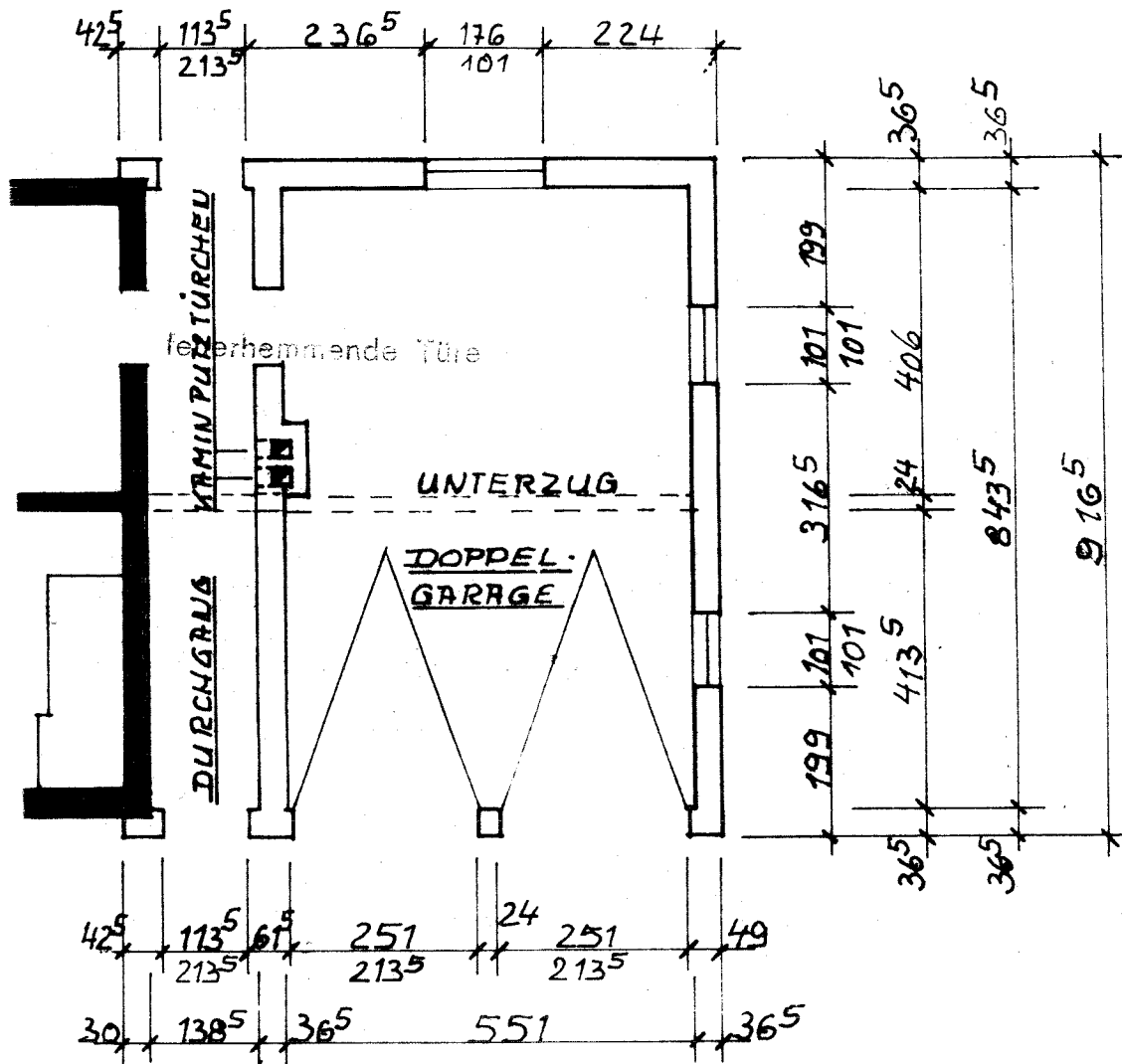
## DACHGESCHOSS

**Bild Nr. A46: Standort A, Haus Nr. 25 (Altbau):  
Grundriß des Obergeschosses  
Maßstab 1:100**



SCHNITT: A-B

Bild Nr. A47: Standort A, Haus Nr. 25 (Altbau):  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100



## KELLERGESCHOSS

Bild Nr. A48: Standort A, Haus Nr. 25 (Neubau):  
Grundriß des Kellergeschosses  
Maßstab 1:100

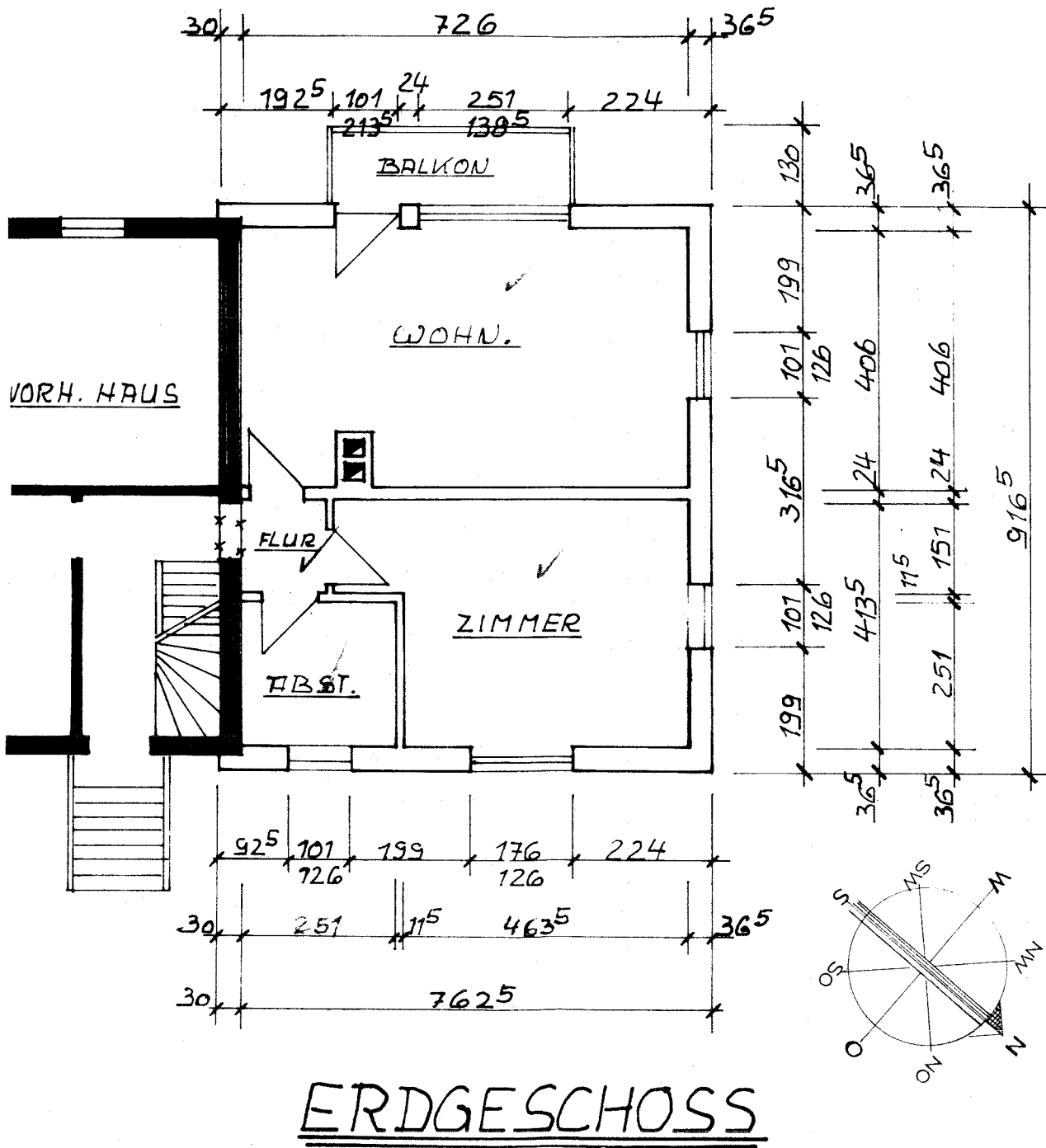
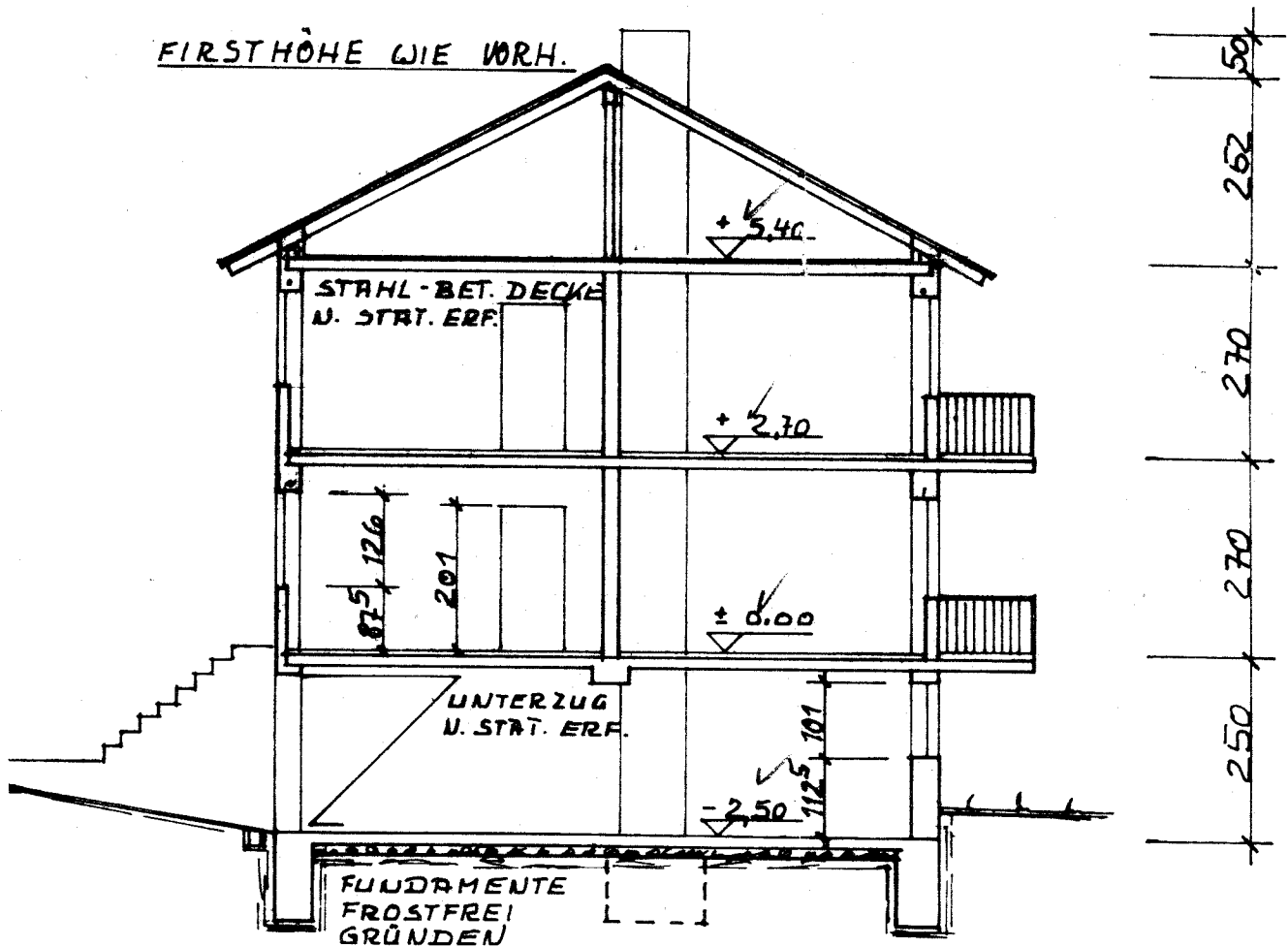


Bild Nr. A49: Standort A, Haus Nr. 25 (Neubau):  
 Grundriß des Erdgeschosses  
 Maßstab 1:100







# SCHNITT

Bild Nr. A51: Standort A, Haus Nr. 25 (Neubau):  
Schnittzeichnung  
Maßstab 1:100