

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83/84 (1924)
Heft: 15

Artikel: Die Fliessgrenze des Eisens
Autor: Nádai, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82774>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

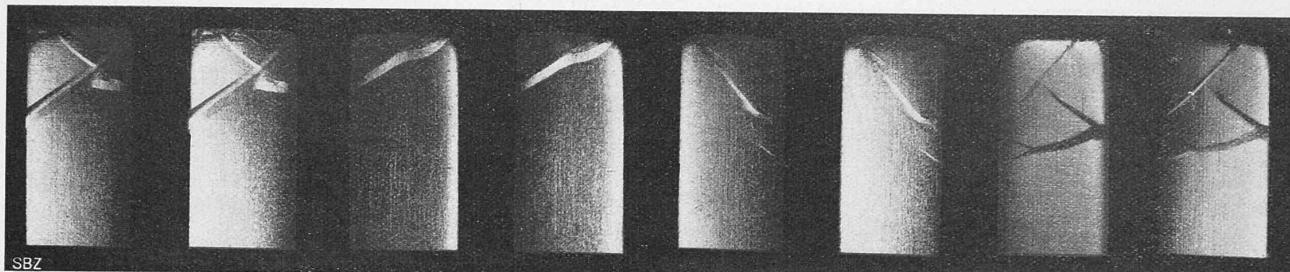


Abb. 22 bis 29. Fliessfiguren auf den vier Seitenflächen eines in seiner Längsrichtung gedrückten vierseitigen Prisma (jede Fläche in zweierlei Beleuchtung).

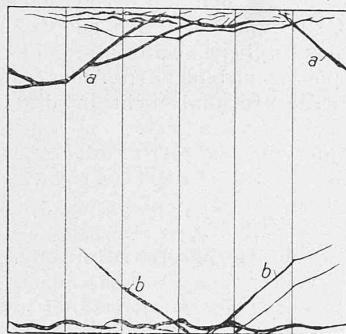


Abb. 19.

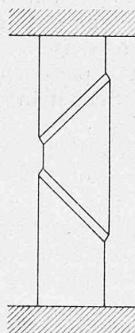


Abb. 20.

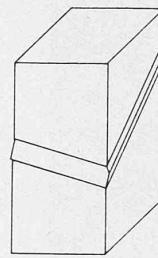


Abb. 21.

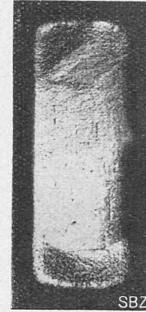


Abb. 30.

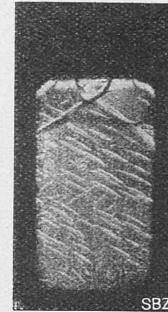


Abb. 31.

Die Fliessgrenze des Eisens.

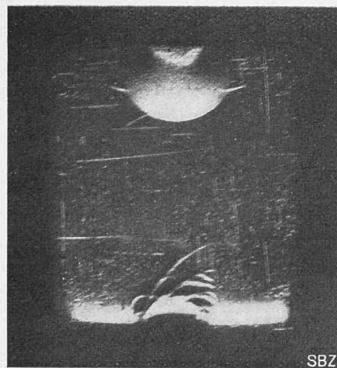
Von Dr. Ing. A. Nádai in Göttingen.

(Schluss von Seite 160.)

Zug- und Druckversuche mit Probekörpern aus weichem Eisen.

Die ungleichmässige Spannungsverteilung in den Druckflächen eines zwischen zwei harten Platten gepressten Versuchskörpers hat zur Folge, dass gewöhnlich, wenn nicht besondere Sorgfalt auf eine gleichmässige Druck-Uebertragung verwendet wird, Teile des Versuchskörpers in der Nähe der Druckflächen seitlich abgequetscht werden, bevor noch die mittlere Druckspannung im Versuchskörper

die Fliessgrenze erreicht hat. Man sieht deshalb meist die ersten Fliessfiguren in der Nähe der Druckflächen aufblitzen, wobei oft die Druckkanten oder einzelne Ecken des Versuchskörpers abgeshoben werden. Dadurch wird allmählich die Belastung gleichförmig auf den Probekörper übertragen. So traten die parallel zu den Druckkanten verlaufenden Fliessfiguren, die auf der abgewickelten Mantelfläche eines sechsseitigen Eisenprismas in Abbildung 19 zu sehen sind, zuerst auf. Sie entwickelten sich unter einer Druckspan-



SBZ

Abb. 18 (gehört zu den Abb. S. 159). Weiche Eisenplatte 35×41 mm, 5,8 mm dick. Oben und unten zwischen zwei rechteckigen Stempeln auf eine Breite von 8 mm gedrückt. Oben: seitliches Vorquellen eines flachen Wulstes von deformiertem Material.

Unten: Fliessfiguren.

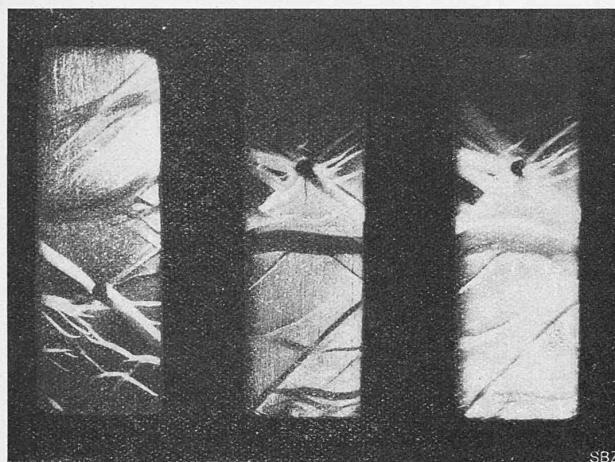
nung von $\sigma = 1000$ kg/cm² eine nach der anderen. Die beiden schiefen Linien a und b in Abbildung 19 blitzen auf der blanken Oberfläche des Sechskants erst auf, nachdem eine Spannuug von 2880 kg/cm² einige Minuten lang gewirkt hatte. Die beiden Polygone, zu denen sie sich schliesslich entwickelten, lassen erkennen, dass sie zwei zur Druckrichtung schiefen Ebenen angehören. Während das Material in den dünnen Schichten zu fliessen beginnt, die

durch die matten Streifen auf der Oberfläche angezeigt werden, weicht der mittlere Prismenteil unter der Last der beiden äussern keilförmigen Körperstumpfe ein wenig zur Seite aus (Abbildung 20).

Die schmalen Streifen, in denen die plastische Schicht durch die Oberfläche des Versuchskörpers geschnitten wird, lassen deutlich die Richtung der gleitenden Bewegung der noch nicht veränderten Körperteile erkennen. Die Fliessstreifen haben entweder ein dachförmiges Profil oder sie bilden nur nach einer Richtung abfallende flache Böschungen der ehemals ebenen Oberfläche, die bereits mit freiem Auge betrachtet, deutlich schuppig erscheinen. Die dachförmigen Fliessfiguren stehen am steilsten zur Druckrichtung, die bösungartigen sehen am schuppigsten aus, wenn sie senkrecht zur Druckrichtung verlaufen, d. h. wenn die Gleitrichtung in der betreffenden Gleitebene die Oberfläche am steilsten trifft. Wo die Gleitrichtung in der Gleitebene nahezu parallel zur Oberfläche verläuft, entstehen hingegen in ihren Schnittgeraden die dachförmigen Fliessfiguren (Abbildung 21). Unter dem Mikroskop lösen sich die Schuppen zu Gruppen von in zusammenhängenden Schichten übereinander verschobenen Kristalliten auf, wobei jedoch, im Gegensatz zu der Gleitlinienbildung am einheitlichen Kristall, keine scharfen Stufen zu erkennen sind. Innerhalb der Ferritkörner einer Fliessfigur sind die kris-

tallinen Streifungen unter günstigen Beobachtungsbedingungen erkennbar.¹⁾

¹⁾ Die mikroskopische Betrachtung der Oberfläche liess bei den Zugversuchen, mit einem stärkeren Abfall der Last an der Streckgrenze, die von einer Fliessfigurenbildung begleitet waren, meist ein feines Korn erkennen, während die Versuche, bei denen die Oberfläche nicht in Streifen, sondern gleichmässig matt wurde, ein gröberes Korngefüge zeigten, in dem umso schöner die innerkristallinen Translationen zu sehen waren. Der Zusammenhang einer grobkristallinen Struktur, deren Bildungsbedingungen im weichen Eisen besonders durch die sorgfältigen Untersuchungen von R. Baumann (C. Bach und R. Baumann: «Festigkeits-Eigenschaften und Gefügebilder der Konstruktionsmaterialien», Berlin), Friedrich Körber (Mitteilungen aus dem K. W. Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, Band 4, Seite 31), Pr. P. Fischer (Kruppsche Monatshefte, 1923, Seite 77) und von A. Pomp in seiner Studie: «Kritische Wärmebehandlung nach kritischer Kaltformgebung von kohlenstoffarmem Eisen», Stahl u. Eisen, 1920, S. 1261, weitgehend aufgeklärt worden sind mit dem Wegfall der Labilitätsscheinung an der Fliessgrenze, scheint auf die Rolle der *Festigkeit der Zwischensubstanz* im Korngefüge hinzuweisen, deren Zusammenbruch möglicherweise die Ursache der Erscheinung des Abfalls der Last in den Zugversuchen sein könnte.



SBZ

Abb. 32 bis 34. Fliessfiguren auf den Seitenflächen eines mit zwei kleinen Löchern versehenen, in der Längsrichtung gedrückten Eisenprisma.

Das vierseitige eiserne Prisma, dessen Seitenflächen in den Abbildungen 22 bis 29 zu sehen sind (von jeder Seitenfläche sind zwei Aufnahmen gemacht) zeigt die erwähnten Formen der Fliessfiguren. Vom Reckkant wurde hier in der Nähe der Druckfläche ein Körper von der annähernden Gestalt eines dreiseitigen Prisma seitlich abgequetscht. Die an einen abgenutzten Sammet erinnernde Oberflächenzeichnung ist nur eine, in der Beleuchtungsart begründete, übertriebene Wiedergabe der Spuren des Schleifens der sonst gut spiegelnden Metallflächen.

Ein Fliessen ohne Bildung von Fliessfiguren zeigte der Druckversuch mit einem andern Eisenkörper. Dieser wurde in der Mitte seiner beiden Druckflächen um eine leichte Spandicke abgedreht, um eine Druckübertragung in den äusseren Teilen der beiden Endquerschnitte zu erzwingen. Die Wirkung ist in den beiden durch die Schlierenbeleuchtung übertrieben abgebildeten Wulsten Abbildung 30 zu sehen; das Material quoll an den Druckkanten seitlich vor, bevor die Druckspannung die Fliessgrenze im Körper erreichte.

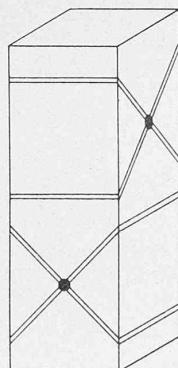


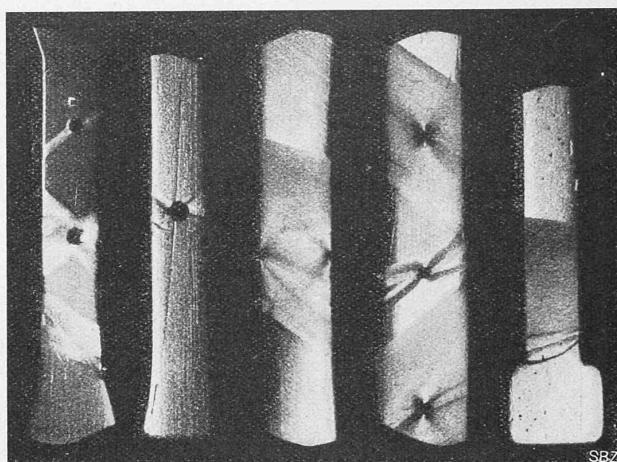
Abb. 35.

Die ausserordentlich regelmässige Strichzeichnung in Abbildung 31 stellte sich auf der Oberfläche eines andern gedrückten Eisenprisma unter einer auffallend niedrigen Spannung (von 1330 kg/cm^2) ein, lange bevor die Fliessgrenze (mit $\sigma = 2420 \text{ kg/cm}^2$) erreicht war und die in der Abbildung ebenfalls sichtbaren gröberen Fliessfiguren sich gebildet hatten. Ob das Vorhandensein von innern Spannungen oder welche andere Gründe dieses vorzeitige Fliessen begünstigt haben, konnte leider an diesem vereinzelten Fall nicht aufgeklärt werden.

Wie Leblond¹⁾ vor kurzem gezeigt hat, können Gleitebenen im Innern von gezogenen oder gedrückten prismatischen Stäben hervorgerufen werden, wenn man sie mit winzigen Einkerbungen versieht. In spröden Körpern entwickelt sich in diesen, durch Zermürbung des Gefüges oft ein wenig plastisch werdenden Streifen ein *Verschiebungsbuch*, wenn nicht die Ueberwindung der Kohäsion in den Gebieten mit Zugspannungen noch vorher zu einem Trennungsbuch Anlass gibt.

Die Abbildungen 32 bis 34 zeigen die Wirkung von zwei kleinen Löchern auf die Ausbildung der Fliessfiguren. Ein eisernes Reckkant von 15,55 mm Seitenlänge und 45,4 mm Höhe wurde senkrecht zu einer Längsaxe in zwei zu einander senkrechten Richtungen durchbohrt und in

¹⁾ La technique moderne, t. XV, S. 7, 1923.



SBZ

Abb. 36 bis 40. Fliessfiguren auf gelochten und gekerbten Zugstäben aus Eisen. Lokale, scharfe Gleitlinienbildung, matte breite Fliessstreifen.

seiner Längsrichtung auf Druck beansprucht. Durch die beiden Löcher konnten jene Gleitebenen zur Entwicklung gebracht werden, die sich in der Lochaxe schnitten (Abbildung 35). Sie lassen sich auf den polierten Seitenflächen des Prisma (Abbildungen 32 bis 34) verfolgen. Wie dieser Versuch lehrt, gelingt es, die Gleitebenen zu lokalisieren, wenn man ihre Ausbildung durch partielle Schwäche des Körperzusammenhangs fördert. Die Vermutung liegt nahe, dass umgekehrt die nicht zu vermeidenden Unregelmässigkeiten, Inhomogenitäten und die weicheren, nachgiebigeren Teile im Material ein Anlass zur Bildung der Fliessfiguren sind, und dass Unregelmässigkeiten (Lücken, Spalten) in der Besetzung der Atomreihen im Kristallgitter möglicherweise eine analoge auslösende Ursache für die innerkristallinen Gleitungen längs den im Gitter festgelegten Ebenen leichtester Verschiebung sein könnten.

Die Entstehung und Ausbreitung der Fliessfiguren an gezogenen Eisenstäben geben die Abbildungen 36 bis 40 wieder.¹⁾ Am Stabkopf eines Flachstabes (Abbildungen 41, 42) blitzten auf seinen beiden Breitseiten unter einer Last von 900 kg zwei parallele feine Gleitlinien *a* auf, deren Ebene mit der Zugrichtung einen Winkel von 45° bildete. Im Augenblick des Sichtbarwerdens dieser Linien ging die Last der (mit einem Pendel als Gewicht versehenen) Festigkeitsmaschine auf 860 kg zurück. Während die Last noch um weitere 20 kg abnahm, bildete sich eine zweite Gleitebene *b* und die zweite Fliessfigur verbreitete sich nunmehr unter einer unveränderlichen Zugkraft zu einem Band. Man darf wohl annehmen, dass geringfügige Spannungserhöhungen durch Biegung mit von Einfluss auf die Entstehung auf die ersten Fliessfiguren während des Zugversuches sind, wenn nicht die Querschnittverschiedenheit, wie auch hier, einen weiteren Anlass für eine Spannungserhöhung bildet. Auch der Freiheitsgrad der Bewegung der Spannköpfe wird nicht ohne Einfluss auf ihre Ausbildung sein. Die Grenzen des matten Bandes, das sich aus einer schmalen Fliessfigur zu bilden pflegt, können parallel zu ihrer Gleitebene im Stabe vorrücken, wie beispielsweise auf dem Stab mit den drei Löchern in Abbildung 39 zu sehen ist, bei dem sich die beiden breiten Bänder aus zwei durch die Löcher hervorgerufenen, gegen-

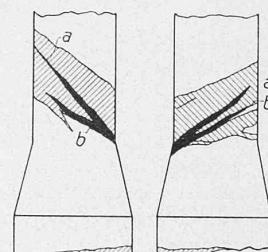


Abb. 41.

Abb. 42.

¹⁾ Vergl. ältere Beobachtungen dieser Art bei B. Kirsch, Mitt. a. d. Versuchsanstalten Berlin, 1887, Heft 2.



Abb. 2. Aus der Siedlung Essen-Stadtwald von Arch. Jos. Rings in Essen. Der Grünhof gegen Norden gesehen.

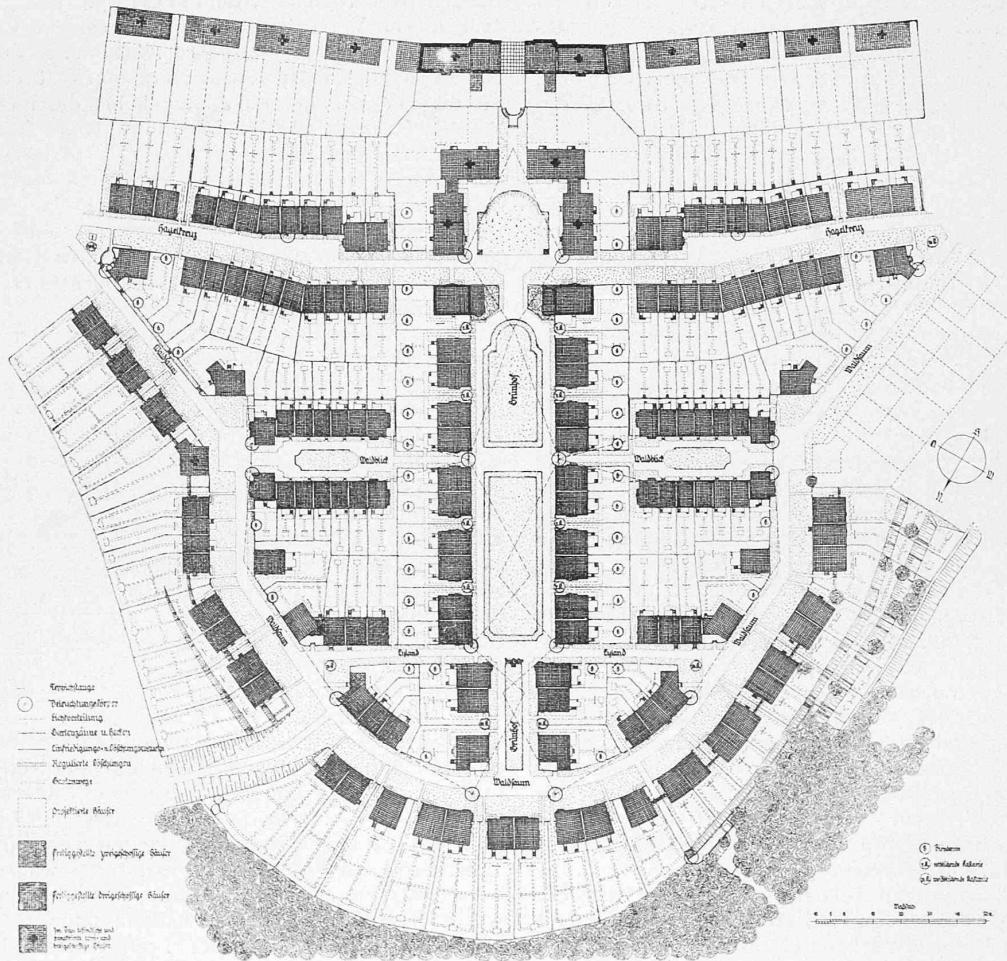


Abb. 1. Aus der Siedlung Essen-Stadtwald; Situations-, Bepflanzungs- und Beleuchtungsplan 1 : 2500.

läufigen Fliessfiguren entwickelt haben. Doch sieht man die Grenzen der breiten Fliessstreifen oft auch ohne Bezugnahme zur Richtung der grössten Schubspannung wandern, wie in Abbildung 40 oder 30. Soweit es sich um einen einaxigen, homogenen Spannungszustand handelt und nicht um ein Vorrücken einer plastischen Zone in einem

örtlich veränderlichen Spannungsfeld, in dem eine solche Grenze der Bedingung $\tau_{\max} = \text{konst}$ entsprechend eine Fläche darstellt, auf der τ_{\max} gerade die Fließgrenze erreicht, wird man sich fragen müssen, ob nicht auch hier zwei Arten der Ausbildung von fließenden Gebieten zu unterscheiden sind, nämlich plastische Schichten die in



Abb. 3 Aus der Siedlung Essen-Stadtwald von Arch. Jos. Rings. — Die Strasse „Hagelkreuz“, gegen Westen gesehen.

einem erkennbaren Zusammenhang mit den Richtungen der grössten Schubspannung verlaufen und in denen das Material *in einer bestimmten Richtung gleitet* (schichtenweise, ebenes Fliesen), und Gebiete, in denen die Gleitrichtungen statistisch verteilt sind. Eine Beobachtung, die für diese Annahme spricht, ist die, dass man auf der Oberfläche der Stäbe die Stellen der *ersten Fließfiguren* noch später erkennen kann, nachdem sich aus ihnen die breiten, matten Bänder entwickelt haben, während man in diesen selbst oft eine sehr gleichmässige Struktur sieht.

Eine regelmässig wiederkehrende Erscheinung während der Zugversuche mit dem weichen Eisen war das *Abfallen der Last in dem Augenblick, in dem sich eine Fließfigur über den ganzen Querschnitt des Stabes ausbreitete*, während die Last nicht merklich sich änderte, wenn die matten Streifen sich bildeten. Durch das Zurückgehen der Last von der von C. v. Bach¹⁾ beschriebenen *oberen Fließgrenze* auf die *untere* wird die Bildung der ersten Fließfigur angezeigt, etwaige spätere Zacken im Zug-Dehnungsdiagramm röhren von den später entstandenen Fließfiguren her. Es darf vielleicht angemerkt werden, dass die von Polanyi (a. a. O.) beobachteten Zacken im Dehnungsdiagramm der Einkristalldrähte die selbe Labilitätserscheinung sind; bei jeder Zucke rutschen zwei Teile des Kristalles, entlang einer neuen Gleitebene, um ein Stück vorwärts.

Aus der Siedlung Essen-Stadtwald.

Architekt Josef Rings in Essen.²⁾

Die vorliegenden Abbildungen zeigen einiges aus der Siedlung Essen-Stadtwald, 1920/21 von einem gemeinnützigen Bauverein als Mittelstands-Heimstätte erbaut. Fertiggestellt sind 155 Häuser mit 34 dreiräumigen,

¹⁾ «Zum Begriff der Streckgrenze», Z. V. D. I. 1904, S. 1040 und «Zur Kenntnis der Streckgrenze», Z. V. D. I. 1905, S. 615. Vergl. daselbst auch die bemerkenswerten Feststellungen von C. v. Bach über den Einfluss der Querschnittsform auf die obere Fließgrenze.

²⁾ Vergl. das Werk «Siedlungsreform» unter Literatur auf S. 179.

vierräumigen, 37 fünfräumigen und 48 sechsräumigen Wohnungen, die 231 Familien Unterkunft bieten. Grösse des Gesamtgrundstückes 76000 m²; davon bebaute Gesamtfläche 14000 m², Gartenland 42000 m² und abgetretenes Strassenland 20000 m²; auf ein Haus entfällt also durchschnittlich 93 m² bebaute Fläche, 271 m² Garten und 129 m² Strassenland. Der umbaute Raum beträgt an Wohnzimmern, Schlafzimmern und Küchen 121355 m³, an Dachkammern 7645 m³. Fast alle Häuser haben nach dem Garten eine offene Terrasse, oft dient deren Unterkellerung als Hühnerstall. Bemerkenswert ist der Grundriss der ganzen Anlage, die sich regelmässig, doch nicht ermüdend symmetrisch um einen zentralen Grünplatz ordnet, auch dieser Platz selber (Abb. 1), obwohl streng axial, wirkt durch die Einfachheit und kubische Klarheit seiner Häuser angenehm bescheiden (Abb. 2). Sehr glücklich ist die Führung der Wege beidseitig des Rasenfeldes, wodurch der Platz behaglicher, breiter und grösser aussieht, als wenn die Strasse, etwa zwischen breiten Vorgarten-Rasenstreifen, in der Mitte verlaufen würde. Bei allen übrigen Wohnstrassen sind solche Rasenstreifen auf der Sonnenseite vorgesehen; sie ermöglichen eine spätere Verbreiterung der Strasse, falls diese einmal nötig sein sollte, sparen aber vorläufig die Kosten und den Unterhalt ihrer Befestigung: eine sehr glückliche, und auch für unsere Siedlungen erstrebenswerte Lösung dieser Frage; man denke an die 9 und 10 m breiten Strassen, zu denen die Basler Siedlung „Gartenfreund“ gezwungen war, bei der rund 170 m² Strasse auf das Haus entfielen, gegen 129 m² hier, wovon zudem nur etwa ein Drittel befestigt. Von sehr guter räumlicher Wirkung ist auch die Beleuchtung des Platzes durch die seitlich in den Strassenmündungen teils an Wandarmen befestigten, teils in portalartig die Strasse überspannenden Bogen (aus Gasröhren) hangenden Lampen. Die ganze Siedlung ist auf zwei Farben gestimmt, der Putz hellgrün, Portale und andere Architekturelemente gelb (eine andere Siedlung gelb und orange). Leider war festzustellen, dass die Farben sehr stark verblichen sind.