

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87/88 (1926)
Heft: 4

Artikel: Die Bekämpfung der Sohlen-Auskolkung bei Wehren durch Zahnschwellen
Autor: Rehbock, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40829>

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: 03.07.2025

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

wobei die Integrale von R_0 bis R (siehe Abb. 7) gehen (obgleich die Elektroden wegen der Isolierung nicht bis an die Rohrwand geführt werden können), weil nämlich in der Nähe der Rohrwand die Streulinien eine solche Stärke erreichen, dass es richtiger ist, die Integrale bis R zu erstrecken. Wir führen nun folgende Koeffizienten ein:

1. $x = kR^2$; z. B. $x = 0,10$ bedeutet, dass die Geschwindigkeit nahe der Rohrwand 10% kleiner ist als in der Rohrxaxe.
2. $F = c : (c - R)$; z. B. $F = 8$ bedeutet, dass der Abstand der Flacheisen in der Rohrxaxe 8 mal grösser ist als an der Wand.

Das Resultat der Rechnung ist nun graphisch in Abbildung 8 für kleine Werte von x dargestellt, und da x gewöhnlich etwa 0,1 ist, erkennt man, dass kleine Abweichungen in der Konstruktion der Elektroden nicht von Bedeutung sind. Gewöhnlich wird F etwa zu 8 gewählt, während nach Abb. 8 F etwa 5 sein sollte.

Bei dieser Ableitung haben wir von Geschwindigkeiten gesprochen, ohne genauer zu sagen, was damit gemeint ist; es kommt nicht die Geschwindigkeitsverteilung in Frage, die etwa mit einer Pitot-Röhre gemessen werden könnte. Der genaue Wert von x müsste vielmehr aus Versuchen mit der Salzgeschwindigkeits-Methode abgeleitet werden, unter Verwendung einer beweglichen Prüf-Elektrode. In sehr guter Annäherung kann jedoch $x = V$, der Verlängerungsgeschwindigkeit der Salzwolke, gesetzt werden (vergl. die zweite Fehlerquelle).

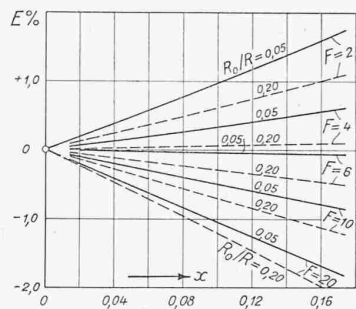


Abb. 8. Fehler der mittlern Geschwindigkeit (vierte Fehlerquelle) für verschied. Elektroden.

Schlussbemerkungen.

Die obigen Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf die Wassermessung in Rohrleitungen; jedoch sind auch in offenen Kanälen, in Druckstollen von konstantem oder veränderlichem Querschnitt erfolgreiche Messungen ausgeführt worden. Wie die Diskussion der Fehlerquellen zeigt, ist die Methode bei Anwendung der nötigen Sorgfalt mindestens ebenso genau wie die Messung mit dem Ueberfall oder mit Flügel. Da sie keiner empirischen Koeffizienten bedarf, eignet sie sich ausserdem für Kontrollmessungen und ist manchmal empfehlenswerter, wo andere Methoden aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht anwendbar sind. Will man den Wasserverbrauch einer Anlage dauernd überwachen, so ist die Salzgeschwindigkeits-Methode dazu nicht geeignet, aber man kann sie unter Umständen benutzen, um ein konisches Rohrstück, das gewöhnlich ohnedies vorhanden ist, als Venturi-Röhre zu eichen; dann genügt es, einen geeigneten Registrierapparat zu kaufen, und man spart sich das teure Venturi-Rohr.

Es ist zu beachten, dass das Messvolumen genau genommen durch die äussersten Stromfäden der bewegten Wassermasse definiert ist, sodass tote Volumina, z. B. seitliche Rohrstutzen nicht mitzurechnen sind. Zur genauen Auswertung des Registrierstreifens ist es nötig, die Stromkurven auf ein starkes, proportional geteiltes Papier umzuzeichnen, worauf man den Schwerpunkt durch Ausschneiden und Ausbalancieren finden kann. Wählt man jedoch die Messstrecke nicht zu kurz, dann kann man mit Annäherungsverfahren bedeutend rascher zum Ziel gelangen. Im Einklang mit der obigen Diskussion der Fehlerquellen zeigen Einzelmessungen gewöhnlich eine erhebliche Streuung bis zu etwa 1%; jeder Messpunkt soll daher aus zehn oder mehr Schüssen bestehen. Es soll zum Schluss noch einmal betont werden, dass die Fehlerkurven Abb. 5 und 6 relative, auf die Länge der Stromkurve bezogene Fehler darstellen, damit die Resultate für beliebige Messanordnungen verwendbar sind; im Endresultat treten diese Fehler je nach der Anordnung 3 bis 8 mal verkleinert auf.

Die Bekämpfung der Sohlen-Auskolkung bei Wehren durch Zahnschwellen.

Von Prof. Dr. Ing. Th. Rehbock, Karlsruhe.

(Schluss von Seite 30.)

Bei der grossen Bedeutung, die einem Mittel zur Minderung der Kolkbildungen bei Wehren zuzumessen ist, sind nach Abschluss der für die Friedländer Entlastungsanlage und für den Entwässerungskanal im Piuragebiet ausgeführten Versuche im Karlsruher Flussbaulaboratorium zahlreiche weitere Modellversuche mit Zahnschwellen zur Ausführung gekommen, die sämtlich die günstige Wirkung der Zahnschwelle unter den verschiedensten Verhältnissen erwiesen haben. So wurde bei Versuchen für die Entwässerungsschleuse im Abschlussdamm der Zuidersee eine Minderung der auftretenden Kolk-tiefen bis zu 3 m festgestellt.

In den letzten Monaten gaben Entwurfsarbeiten für einen 8 km langen Entwässerungskanal am Nilufer-Fluss bei Brussa in Kleinasien, in dem 16 Absturzbauwerke zur Gefällsvernichtung eingebaut werden sollten, den Anlass zu einer systematischen Untersuchung über die Ausbildung der Sturzbette ohne und mit Zahnschwelle. Bei diesen Versuchen wurde die Sturzbettbreite von 24 m um jeweils 3 m bis auf 3 m gekürzt. Für den stets gleichen Wasserdurchfluss von 3,125 m³/sek auf 1 m Wehrlänge wurden hierbei die auftretenden Kolk-tiefen beim Fehlen und beim Vorhandensein einer Zahnschwelle festgestellt.

In allen Fällen wurde eine starke Minderung der Kolk-tiefen und eine wesentlich bessere Lage der Kolke infolge der Wirkung der Zahnschwellen ermittelt. Die grössten Kolk-tiefen wurden bei allen untersuchten Sturzbettbreiten durch die Zahnschwellen um 40 bis 75 % verringert. Während bei fehlender Zahnschwelle auch Auskolkungen unmittelbar unterhalb der befestigten Sturzbettplatte auftraten, wurden beim Vorhandensein einer Zahnschwelle in keinem Fall Auskolkungen unmittelbar an der Sturzbettplatte festgestellt. Die Sohle schloss sich vielmehr stets mit schwachem Gefälle an die Oberfläche der Zahnschwellen an.

Diese Versuche lieferten noch ein weiteres wertvolles Ergebnis, denn sie zeigten, dass selbst bei einer aus leichtbeweglichen feinen Bestandteilen bestehenden Flusssohle beim Vorhandensein einer Zahnschwelle eine sehr starke Einschränkung der Sturzbettbreite möglich und sogar vorteilhaft ist. Während die Breite der Sturzbetten bei den 3 m hohen festen Wehren für eine Stauhöhe von 1,2 m ursprünglich zu 9 m projektiert war, ergaben die Modellversuche die Möglichkeit der Verringerung der Sturzbettbreite bis auf 3 m, was für die 16 Stufen eine Betonsparnis von zusammen über 4000 m³ bedeutet. Das Ergebnis der Versuche für ein nur 3 m breites Sturzbett, das nicht einmal bis zum Ende der die Energie des Absturzes vernichtenden Deckwalze reicht, sondern schon unter der Deckwalze endet, ist aus den Längenschnitten auf Tafel III ersichtlich.

Bei fehlender Zahnschwelle erfolgte eine ganz wilde, stossweise Auskolkung der Sohle, die praktisch nicht geduldet werden könnte. Schon nach Verlauf einer einzigen Minute zeigte die Flusssohle des Modelles das aus Abb. 1 (Tafel III) ersichtliche Bild mit einem kurzen, tiefen, dicht am befestigten Sturzbett liegenden Kolk, dessen Tiefe die Stauhöhe der Weherschwelle übersteigt, und einer anschliessenden hohen Auflandung. Durch diese Auflandung wurde dann infolge eintretender Hebung des Wasserstromes das Abflussbild gänzlich geändert. Es bildete sich unter dem Wasserstrom eine Grundwalze, die einige Minuten lang den Kolk wieder teilweise zuwarf, bis dann plötzlich nach dem Fortreissen dieser Grundwalze wieder eine neue Auskolkung entstand. Dabei wurde der Kolk bei nur geringer Aenderung seiner Tiefe allmählich immer mehr in wagrechttem Sinne verbreitert. Nach vierstündigem Durchfluss des Modelles war der in Abb. 2 der Tafel III dargestellte Längenschnitt entstanden, ohne dass die stossweise Aenderung des Abflussbildes und der Sohlengestalt aufhörte.

Tafel III

Abflußmenge 3,125 cbm/Sek auf 1m Wehrlänge. Unterwassertiefe +3,10m. Maßstab des Modells 1: 25.

Abb. 1. Längenschnitt durch das umgestaltete Flußbett nach einer Überflutung von 1 Minute bei fehlender Zahnschwelle.

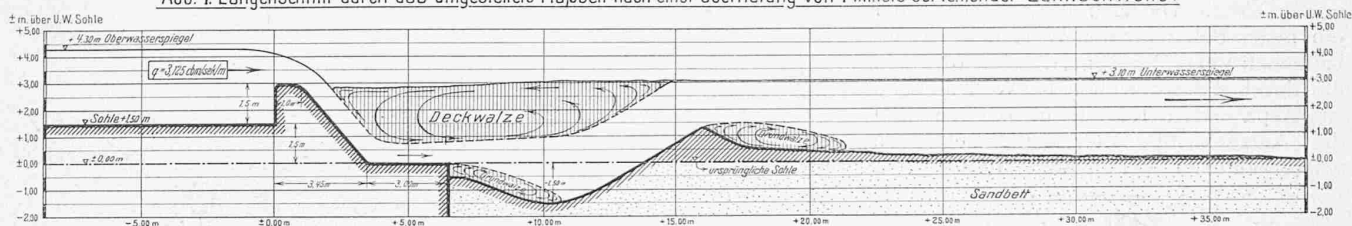


Abb. 2. Längenschnitt durch das umgestaltete Flußbett nach einer Überflutung von 4 Stunden bei fehlender Zahnschwelle.

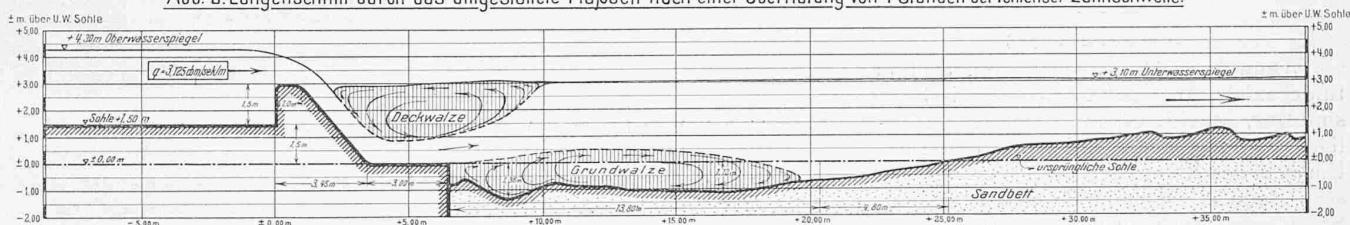
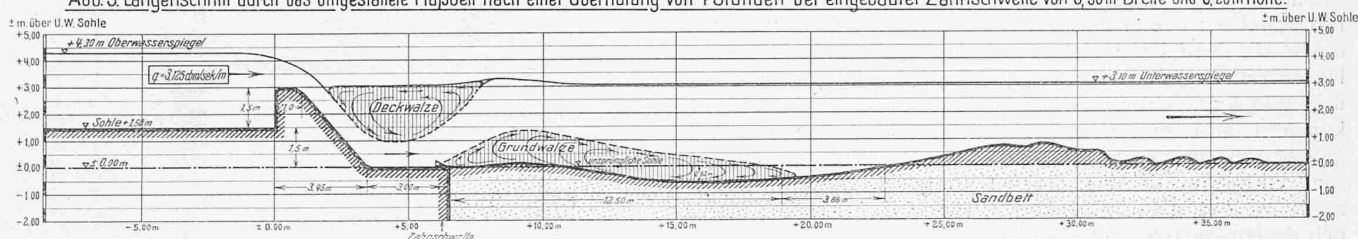


Abb. 3. Längenschnitt durch das umgestaltete Flußbett nach einer Überflutung von 4 Stunden bei eingebaute Zahnschwelle von 0,50m Breite und 0,20m Höhe.



Nur die Zeitdauer der einzelnen Perioden wurde allmählich grösser.

Ganz anders war die Erscheinung beim Vorhandensein einer Zahnschwelle. Der plötzliche Wechsel der Kolk-Erscheinungen fiel hier vollständig fort. Die Umgestaltungen der Sohle blieben äusserst gering. Es bildete sich bald ein Beharrungszustand aus, bei dem auf eine Längenerstreckung von der drei- bis vierfachen Wehrhöhe unterhalb des befestigten Sturzbettes keine Senkung, sondern vielmehr eine schwache Hebung der Flusssohle auftrat. Die Wirkung des Wassers auf die Sohle war trotz der ungewöhnlichen Kürze des Sturzbettes demnach so günstig, dass nicht einmal die Anbringung einer Herdmauer oder einer Spundwand am Sturzbett-Ende erforderlich erscheint.

Bei den Versuchen für die Absturzbauwerke im Nilufer-Kanal wurden die Untersuchungen auch auf die erforderliche Grösse der Zahnschwellen erstreckt. Dabei wurde festgestellt, dass die Abmessungen einer Zahnschwelle ohne Beeinträchtigung der günstigen Wirkung sehr klein gewählt werden können. Bei den auf Tafel III dargestellten Versuchen wurde die Höhe der durchlaufenden Schwelle für die natürlichen Verhältnisse nur zu 10 cm, die Höhe der Zähne von der Sturzbett-Oberfläche aus gemessen aber nur zu 20 cm angenommen bei einer Sohlenbreite der Schwelle von 50 cm.

Die durchlaufenden Dachschnellen erfordern nach dem Ergebnis der Versuche unter normalen Verhältnissen nur eine Höhe von $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{24}$ der Absturzhöhe des Wassers, während für die aufgesetzten Zähne eine Maximalhöhe von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ der Absturzhöhe genügt. Bei diesen kleinen Abmessungen ist für die üblichen mittleren Absturzhöhen eine fabrikmässige Herstellung der Zahnschwellen möglich. Als Material für die Zahnschwellen kommt bei geschiebefreiem Wasser reiner Beton, bei geschiebeführendem Wasser aber Eisenbeton oder Gusseisen bzw. Gusstahl in Frage¹⁾.

¹⁾ Nähere Auskunft zu geben ist die „Stauwerke A.-G.“ (Zürich) in der Lage, die für die patentierte Zahnschwelle das alleinige Ausführungsrecht für die Schweiz, Italien, Frankreich und Spanien besitzt. Red.

Während die Wirkung der Zahnschwelle am deutlichsten dort in die Erscheinung tritt, wo infolge der Energie-Entziehung durch eine Deckwalze eine Umkehrung der normalen Geschwindigkeitsverteilung im Wasserstrom mit zur Sohle hin anwachsenden Abflussgeschwindigkeiten auftritt, haben sich Zahnschwellen aber doch auch bei der normalen Geschwindigkeitsverteilung sowohl in strömendem als auch im schiessenden Wasserstrom als wertvolles Hilfsmittel des Wasserbaues zur Minderung der Sohlenauskolkungen erwiesen. Für diese Fälle liegen aber noch keine genügend zuverlässigen Ergebnisse zur Gewinnung eines abschliessenden Bildes vor.

Für den normalen Fall der Wasserberuhigung durch eine Deckwalze, die den schiessenden Abfluss in den strömenden verwandelt, kann dagegen schon heute ein im wesentlichen abschliessendes Urteil abgegeben werden. Denn durch zahlreiche Versuche an Modellwasserläufen ist erwiesen und durch einige praktische Bauausführungen ist bestätigt, dass die Zahnschwelle ein überraschend wirksames und durch keine andere bis jetzt bekannte Vorrichtung ersetzbares Mittel zum Schutz der Flusssohle bei Wasserabstürzen gegen Auskolkung bildet. Es kann nicht daran gezweifelt werden, dass weitere Anwendungen der Zahnschwellen, die zurzeit an mehreren Stellen — so bei dem Hundsbachwehr der Raumünzachfassung des Murgwerkes, bei dem Limmatwehr des E. W. Aue²⁾ in Baden (Aargau) und bei einer nordamerikanischen Anlage — geplant sind, bald neue Bestätigungen über die günstige Wirkung der Zahnschwellen erbringen werden.

Bei der ausserordentlich grossen Zahl der in aller Welt vorhandenen Wehranlagen und bei den bedeutenden Ausgaben, die den Besitzern der Wehre durch den beständigen Kampf gegen die Verwilderung des Bettes entstehen, scheint die Zahnschwelle berufen, ein auch wirtschaftlich wertvolles Hilfsmittel des Wasserbaues zu bilden, durch dessen richtige Anwendung sehr erhebliche Ersparnisse erzielt werden können.

²⁾ Ursprüngliche Bauausführung siehe „S.B.Z.“, 20. Aug. 1910. Red.

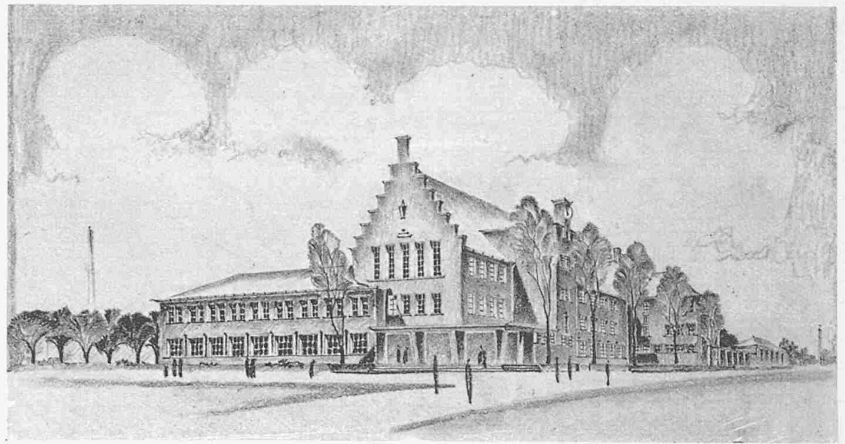
Die Auffindung der Vorrichtung und die systematische Ueberprüfung ihrer Wirkung liessen sich nur durch Modellversuche ermöglichen. Die Zahnschwelle ist daher ein neuer Beleg für den Wert des wasserbaulichen Versuchswesens, denn schon allein die durch Zahnschwellen bei Wehranlagen zu ersparenden Kosten übertreffen weit die Anlagekosten aller seither erbauten wasserbaulichen Versuchsanstalten.

Nochmals von Axialität und Raumgefühl.

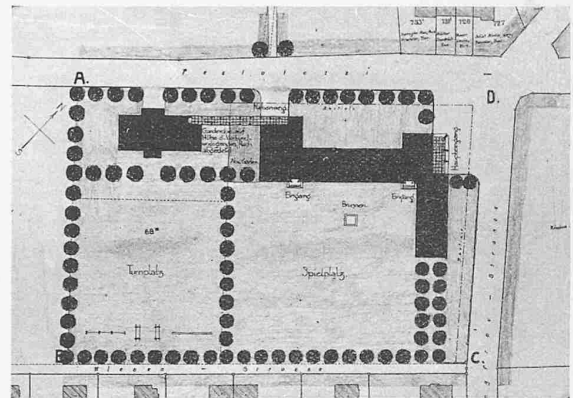
(Schluss von Seite 33.)

Wenn Herr Dr. Rösiger sagt, auch er finde axiale Arbeiterhäuschen komisch, so sind wir, scheint es, in einem sehr wichtigen zentralen Punkt einig, nur besitzt der Umkreis des Komischen dieser Art für mich einen viel grösseren Radius. Denn im Gesamtorganismus einer modernen Stadt spielt doch auch die kostbare Villa einer Gartenvorstadt keine grössere Rolle als dieses Arbeiterhaus. Solange sie nicht durch einen wirklich grossen Park im Sinn alter Herrschaftssitze von ihren Nachbarn gänzlich isoliert ist, bleibt sie eben das Glied einer mehr oder weniger dichten Häuserreihe, genau wie das Arbeiterhäuschen, und wenn man nun Axen entwickelt, um die sich keiner der Nachbarn kümmert und zu kümmern braucht, so beweist man im gleichen Atemzug erstens den Anspruch sich zu isolieren, sich vornehm auf sein eigenes Zentrum zurückzuziehen, zweitens aber die Unfähigkeit, diesen Anspruch auch wirklich durchzusetzen, und ebendas wirkt unweigerlich komisch. Gerade vornehme alte Strassenzüge, etwa Faubourg St-Germain zu Paris zeigen, wie empfindlich man für diese Beziehungen war: fast überall ist die Cour d'honneur gegen die Strasse mit einer glatten Mauer abgeschlossen, man fängt die Axialität des Hauptgebäudes sozusagen ab, um sie nicht indiskret auf die Strasse ausstrahlen zu lassen, denn man war sich über die Unvereinbarkeit des Willens zur Axe mit dem Zwang zur Reihung ganz im Klaren. Eine interessante Bestätigung meiner Meinung, Axialität sei an (der Absicht nach) absolute Herrschaft gebunden, findet sich in Lewis Mumfords Buch über amerikanische Architektur und Zivilisation („Vom Blockhaus zum Wolkenkratzer“, deutsch bei Bruno Cassirer), auf das wir noch zurückkommen werden. Sehr klar legt der amerikanische Verfasser dar, wie das Aufkommen der klassizistischen Architektur in Amerika eine Begleiterscheinung des sich bildenden Grossgrundbesitzes und der Sklavenarbeit war.

In der „Baugilde“ formuliert Herr Dr. Rösiger die Ostendorfischen Lehrmeinungen geradezu zu einer Art Glaubensbekenntnis, wenn er schreibt: „Nie hat es grosse Architektur ohne Symmetrie gegeben. Weder der antike Tempel, noch die gotische Kathedrale machen da eine Ausnahme. Denn es gibt doch nichts, was tiefer eine gerade über das Alltägliche steigende Wirkung auszuüben vermag, als die eindringliche Wiederholung des Gleichartigen und die Zusammenfassung auf eine betonte Mitte“. Mit Ausnahme des Schlusses von der betonten Mitte kann ich das Gesagte wörtlich unterschreiben. Aber eben weil diese Symmetrie ein Aeusserstes, an sakraler Würde nicht mehr zu Ueberbietendes ist, soll man sie nicht an jeder Strassenecke bei jeder alltäglichen Gelegenheit zu Tode hetzen, ins Triviale vertausendfachen, und zur leeren Pose erniedrigen. Was nicht Mittelpunkt ist, soll auch nicht Mittelpunkt scheinen wollen. Nicht der Axe also, sondern dem unerhörten Missbrauch, der mit diesem höchsten Kompositionsmittel getrieben wird, gilt unsere Opposition, wobei wir allerdings an 95 Prozent aller neuklassizistischen Architektur zu diesem Missbrauch rechnen: die „letzten Steigerungen“ müssten wirklich für höchste Zwecke reserviert bleiben, sie sitzen aber den Neuklassizisten (und zum Teil



III. Preis, Entwurf Nr. 30. — Arch. Walter Sommer, Biel. — Ansicht von der Nordecke.



Entwurf Nr. 30. — Lageplan 1:2500.

schon den echten Klassizisten, wenn schon durch Geschmack noch gemildert) so locker, dass sie auch bei jeder unpassenden Gelegenheit als falsches Pathos herauskollern, sodass man dann vor wichtigen Aufgaben mit leeren Händen steht.

Die Klassizisten sind durchaus im Irrtum, wenn sie glauben, die Opposition gegen ihr Axen-Schema entspringe einer romantischen Auflehnung gegen den Zwang einer disziplinierten Form, und sei die Aeusserung vermeintlich genialischer Ungebundenheit. Ganz im Gegenteil: weil wir heute das Einzelgebäude in viel stärkerem Mass in ein Netz von Beziehungen eingespannt sehen, scheint uns die klassizistische Formgebung zu „ungebunden“, denn sie geht auf Vereinzelung, auf Zentrierung, statt auf Einbindung des Einzelnen in die Ströme des modernen Lebens. Der auf seine Axen eingeschworene Klassizist isoliert jedes Gebäude für sich, er modelliert und organisiert es in der Hand wie einen Gegenstand, den er dann nachträglich in die Gegend stellt, und bestenfalls durch ein paar Bäume, Hecken und Mäuerchen mit ihr verlötet. Oder er plant städtebauliche Gesamtanlagen mit dominierenden Mittelpunkten, denen sich die Nachbarn nur dem dekorativen Arrangement zuliebe unterordnen sollen, obwohl keinerlei Abhängigkeitsverhältnisse vorliegen. Und so entstehen Strassenzüge, die es selbst bei geschlossener Bebauung fertig bringen, in lauter Einzelheiten zu zerfallen, weil sich jedes Haus in bornierter Monomanie auf seine eigene Mitte konzentriert, weil jedes Mittelpunkt, aber keines Glied einer Reihe sein will; jene Villen-Vorstädte, in denen jedes Haus seine Axen gegen den Nachbarn wie Igelstacheln sträubt, sodass trotz den verbindenden Gärten alles in Einzelheiten zerbröckelt und nirgends eine ruhig-einheitliche Wirkung zu stande kommt.

Dass sich in der axial-symmetrischen Gestaltung vor allem das Repräsentationsbedürfnis des Bauherrn ausspricht, wird auch ein Klassizist nicht leugnen wollen, und es entspricht nur der wichtigen Rolle, die dieses Bedürfnis in