Paul Niggli und die Materialwissenschaften

Autor(en): **Epprecht, Willfried**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **68 (1988)**

Heft 2

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-52067

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

SCHWEIZ. MINERAL. PETROGR. MITT. 68, 273-278, 1988

Paul Niggli und die Materialwissenschaften *

von *Willfried Epprecht* [1]

Die Materialwissenschaften befassen sich mit den Eigenschaften und mit der Herstellung jener Vielzahl fester Stoffe, welche der Mensch zu seinem Gebrauch herstellt. Zur Zeit von Paul Niggli waren die Materialwissenschaften noch kein an Hochschulen etabliertes Fachgebiet, auch wenn Teilbereiche derselben innerhalb verschiedener Studiengänge schon damals gelehrt wurden.

Paul Niggli hat als Mineraloge, Kristallograph und Petrograph und als einer der letzten Gelehrten, welcher das Gesamtgebiet dieser Wissenschaftszweige überblickte, die Bedeutung seines Wissensbereichs für die Fortschritte der Naturwissenschaft und der Technik mit erstaunlichem Weitblick gesehen. Stets verband er die Erkenntnisse theoretischer, reiner Forschung mit dem Bestreben, deren praktische Anwendung zu fördern. Die Grundlagen der Struktur- und Phasenlehre, die er mit fundamentalen Arbeiten in seinen angestammten Fachgebieten massgeblich mitgestaltete, hat er sinngemäss auf die Materialien der Technik ausgeweitet.

Genau wie Minerale und Gesteine sind die Bau- und Werkstoffe zum grossen Teil ein- oder vielkristalline Körper mit analogen Eigenschaften. Darauf hat Paul Niggli in Veröffentlichungen, in Kolloquiumsbeiträgen und -kommentaren und in Festvorträgen unermüdlich hingewiesen und damit hat er seine Schüler, Fachleute der Industrie und die Öffentlichkeit nachhaltig angeregt. Dabei stützte er sich weitgehend auf Erkenntnisse, welche er aus der Verarbeitung von Resultaten anderer Forscher schöpfte. Er besass die seltene Gabe, aus Publikationen das Wesentliche klar herauszuholen und Falsches zu erkennen. Eigene Laboruntersuchungen führte er nur in seinen frühen Jahren durch. Ferner ist es typisch für Paul Niggli, dass er nie als Gutachter tätig war. Die Anwendung seiner Erkenntisse überliess er ganz seinen Mitarbeitern oder Aussenstehenden. Insgesamt war seine Bedeutung für die sich langsam als selbständige Disziplin entwickelnde Materialwissenschaft äusserst bemerkenswert.

Der Einfluss von Niggli erfolgte zunächst durch seine Vorlesungen über Mineralogie und durch seine Lehrbücher. Schon die erste Auflage seines Mineralogie-Lehrbuches (NIGGLI, 1920) enthält 45 Seiten über die physikalischen Eigenschaften der kristallinen Stoffe, wesentlich mehr als gleichartige Lehrbücher jener Zeit (KLOCKMANN, 1922; GROTH, 1921). Dies zeigt, dass Niggli den für die Technik wichtigen Eigenschaften wie Elastizität, Plastizität, Festigkeit, thermisches Verhalten, elektrische und magnetische Eigenschaften eine erheblich grössere Bedeutung beigemessen hat als andere Mineralogen seiner Zeit. Wer seine Vorlesungen gehört hatte, war für die spätere Entwicklung der Materialwissenschaften sehr gut vorbereitet.

Die Zusammenhänge zwischen Aufbau und Eigenschaften kristallisierter Stoffe waren für Niggli das zentrale Thema der Forschung und ihrer Anwendung im Materialsektor. Zudem war er überzeugt, dass Fortschritte auf diesem weitgefächerten Gebiet enger Zusammenarbeit von Naturwissenschaftern und Ingenieuren bedurften. Diese Überzeugung hat er oft mit der ihn auszeichnenden Prägnanz ausgedrückt.

Am Kongresss des Internationalen Verbandes für Materialprüfung 1931 äusserte er sich folgendermassen: «Der sehr wichtige Einfluss der Gefügeart auf das Gesamtverhalten der fe-

[1] Ottenbergstr. 45, CH-8049 Zürich

* Durch den Redaktor gekürzte Fassung des Vortrages vom 27.6.1988.

sten Gesteine (Bruchgefahr, Festigkeit, Verformungsfähigkeit) ist noch nicht systematisch untersucht worden, obwohl die Beschreibung der Strukturen und Gefügeregelungen wesentlich präziser geworden sind. Hier liegt für die Zusammenarbeit von Kristallograph, Physiker und Ingenieur ein weites Forschungsfeld vor» (NIGGLI, 1931; NIGGLI und DE QUERVAIN, 1931).

1929 stellte er in einer Rektoratsrede an der ETH Zürich fest: «Heute können wir nach mikroskopischer Untersuchung eines natürlichen oder künstlichen Baustoffes weitgehende Schlüsse ziehen auf sein physikalisches Verhalten: die Druckfestigkeit, Abnützbarkeit, Zähigkeit, Verbandsfestigkeit, Wetterbeständigkeit, Wasser-, Farb- und Feuerbeständigkeit usw. Unzweifelhaft würden wir noch viel mehr imstande sein, wenn die Zusammenarbeit zwischen Mineralogie, Geologie und technischer Materialprüfung von Anfang an eine innigere gewesen wäre» (NIGGLI, 1929a). Was er sich damals wünschte, führte dann später weltweit zu den Erfolgen der Materialwissenschaften.

Nigglis Anliegen haben nichts von ihrer Aktualität eingebüsst: «Im Bau- und Maschineningenieurwesen hat lange Zeit die Materialienkunde und insbesondere die Werkstoffchemie eine untergeordnete Rolle gespielt. Man hat die Materialien von bekannten Firmen bezogen oder höchstens vor Gebrauch nach wenigen klassischen Methoden prüfen lassen. Für übliche Routinearbeit bot dies in vielen Fällen eine genügende Sicherheit. Eine Technische Hochschule verfolgte jedoch nicht das Ziel, Routinearbeiter auszubilden. Sie will mithelfen, Ingenieure zu formen, die neuartige Aufgaben anpacken können, die - wenn an Werkstoffe erhöhte Anforderungen gestellt werden - nicht versagen, sondern mindestens verantwortungsbewusst zu beurteilen vermögen, was nun vorzukehren sei... Nur so wird verhindert, dass fehlerhafte Anwendungen erfolgen, neue Möglichkeiten übersehen werden und nach Formeln gerechnet wird, die nicht mehr werkstoffgerecht sind» (NIGGLI und BRANDENBERGER, 1949). Dieser Satz gilt - wie schwere Unfälle der neuesten Zeit zeigen - leider immer noch zu recht. Auch heute noch fehlt sehr vielen Bau- und Maschineningenieuren das Wissen um werkstoffgerechte Verwendung und die speziellen Eigenschaften gängiger Materialien.

Dazu passt auch eine Bemerkung aus dem Jahre 1933; Niggli fordert die Prüfanstalten auf, «nicht nur gutachtliche und prüfende Funktionen auszuüben, sondern auch zu forschen» und anderseits die Ingenieure, ihre praktischen Erfahrungen den Wissenschaftern mitzuteilen (NIGGLI, 1933).

Paul Nigglis Weitblick sei nochmals anhand eines Zitats aus der Rektoratsrede von 1929 dargelegt. Er sprach damals von den Gitterstörungen, welche bei der Metall-Verformung die Verfestigung verursachen. Hier sah er bereits die Bedeutung der erst 25 Jahre später elektronenmikroskopisch verifizierten Versetzungen voraus: «...die Idee des in sich harmonisch gebauten Kristalles ist äusserst selten in strenger Vollkommenheit verwirklicht. Störungen im Kristallbau sind die Regel; sie haben zur Folge, dass die wirklich feststellbaren Eigenschaften oft wesentlich von denen abweichen, die theoretisch erwartet werden müssen... Allein die Feststellung, dass es Eigenschaften gibt, die von solchen Strukturfehlern wenig abhängig sind, während andere in erheblichem Mass durch sie beeinflusst werden, eröffnet die Möglichkeit, durch sorgfältige Züchtung Individuen mit bis jetzt nicht erreichten physikalischen Eigenschaften herzustellen...». (NIGGLI, 1929a). Wie recht hatte er, wenn man an die ungeheure Entwicklung der Halbleitertechnik denkt, die ja grösstenteils auf der Züchtung von Kristallen mit dosierten Punktfehlern beruht, oder an die Entwicklung der hochfesten und hochwarmfesten Legierungen mit ihrem ausgeklügelten Gehalt an speziellen Baufehlern.

Paul Niggli beschränkte sich nicht darauf, die Praktiker zur Anwendung der Erkenntnisse seines Fachgebietes aufzurufen und ihnen sein Wissen vorzulegen. Mit grosser Tatkraft baute er Fachstellen auf, um seine Anregungen in die Tat umsetzen zu können (NIGGLI, 1941, 1946a, b). Nach der Übernahme des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Eidgenössischen Technischen Hochschule und der Universität Zürich im Jahre 1920 bemühte er sich um enge Beziehungen zur Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) und zur Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Letztere präsidierte er ab 1924 während 25 Jahren. Damit übte er einen massgebenden Einfluss auf die Rohstoff- und Bausteinforschung in der Schweiz aus. 1927 schuf er die Geotechnische Prüfstelle als gemeinsame Institution des Mineralogisch-Petrographischen Instituts, der

Geotechnischen Kommission und der EMPA (NIGGLI, 1930; NIGGLI und DE QUERVAIN, 1930). Als Leiter setzte er 1930 seinen Schüler Francis de Quervain ein, der später als Präsident der Geotechnischen Kommission und als Hochschullehrer in die Fussstapfen Nigglis trat (STAHEL und JENNY, 1984). Auf ähnliche Weise bemühte sich Niggli um die Schaffung von weiteren, aus der praktischen Tätigkeit finanzierten Stellen. In den Jahren der Wirtschaftskrise regte er beim Eidgenössichen Arbeitsamt eine Geotechnische Beratungsstelle an, welche 1935 geschaffen wurde.

Eine zweite Verbindung zur EMPA hat Niggli auf dem Gebiet der Materialprüfung mit Röntgenstrahlen geschaffen. Nach der Bestimmung der Kristallstrukturen von CuO, Cu_2O und Ag_2O (NIGGLI, 1922/23) anhand von Pulveraufnahmen, welche Paul Scherrer hergestellt hatte, und anderen eigenen Arbeiten auf diesem Gebiet (NIGGLI, 1918, 1921; NIGGLI und FAESY, 1924) förderte er die weitere Entwicklung zielgerichtet. Offenbar wurden am Mineralogisch-Petrographischen Institut selbst erst 1926 Röntgenbeugungsexperimente ausgeführt, welche Niggli dann ab 1928 mit Ernst Brandenberger zusammen mit wichtigen Beiträgen zur Kristallstrukturbestimmung und zur Stereochemie (NIGGLI und BRANDENBERGER, 1928, 1931) fortsetzte. Ein Memorandum von BRANDENBERGER (1932) über die Verwendung der Röntgenstrahlen in der Materialprüfung war von Niggli angeregt worden und führte folgerichtig zur Gründung des Laboratoriums für technische Röntgenographie und Feinstruktur-Untersuchung, an dem sich das Mineralogisch-Petrographische Institut und die EMPA gleichermassen beteiligten und als dessen Leiter Ernst Brandenberger eingesetzt wurde. Als solcher hatte er völlig freie Hand, durfte dabei allerdings von Niggli kaum Unterstützung für die Anschaffung neuer Einrichtungen erwarten. Dies war fast nur via EMPA möglich (BRANDENBERGER, 1933, 1934, 1935, 1953).

Dass Paul Niggli mehrfach die Wünsche nach Apparateanschaffungen ablehnte, wird verständlicher, wenn man seine beschränkten finanziellen Möglichkeiten am Institut erfährt, von denen er kaum je sprach. In dem auf Seite 276 abgebildeten Brief an den damaligen Schulratspräsidenten Prof. Dr. A. Rohn schrieb er am 30. November 1929, nachdem man ihm aufgrund von zwei abgelehnten Berufungen ins Ausland grössere Zusicherungen gemacht hatte, mit bitteren Worten:

«Da ich leider soeben erfahre, dass ein Gesuch... das von mir als Präsident der Geotechnischen Kommission eingereicht wurde trotzdem es... allseitige Zustimmung auch von den Vertretern des Bundesrates erhalten hat, nicht vom Bundesrat gutgeheissen wurde... Heute liegen zur Drucklegung umfangreiche Arbeiten vor über den Chemismus der schweizerischen Gesteine, der Kohlen und Bitumen, über die Grundwasserverhältnisse der Kantone Zürich und Solothurn, über die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung, über mehrere Erzlagerstätten. Solche Arbeiten selber oder mit Mitarbeitern auszuführen, ohne dass nachher die Ergebnisse der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden können, ist zwecklos und wirkt deprimierend».

Paul Niggli war damals Rektor der ETH und er schrieb diesen Brief von Hand, wie es damals für Institutsvorsteher üblich war! Er äusserte weiter «gewisse Wünsche», z. B. denjenigen nach einer Schreibmaschine und nach einer Sekretärin «zur wirksamen Ausnutzung der Kräfte» (NIGGLI, 1929b).

Niggli hat an seinem Institut wiederholt auch kurzfristige Forschungsstellen geschaffen, um materialwissenschaftliche Arbeiten ausführen zu lassen. So untersuchte z. B. FRIEDLÄNDER (1951) die Eignung alpiner Quarzkristalle zur Herstellung von Piezokristallen. Von EPPRECHT (1947) stammen Versuche zur Asbestsynthese. In der Industrie hatte das Wirken Nigglis Aufmerksamkeit gefunden; sinngemäss traten mehrere seiner Schüler Stellen in der Steine- und Erden-Industrie oder in der Metallindustrie an.

In einem weiteren Gebiet, das der Materialwissenschaft, mehr noch aber der klassischen Mineralogie und Petrographie nahesteht, hat Paul Niggli seine Vorliebe für ganzheitliche interdisziplinäre Arbeitsweise bewiesen. Es handelt sich um die Schnee-, Lawinen- und Gletscherkunde. «Schnee, Firn und Eis sind unzweifelhaft dem wissenschaftlichen Begriffsystem nach Gesteine», schrieb er 1939. Aus dem Blickwinkel des Kristallographen und Petrographen erkannte er die Forschungsmöglichkeiten in diesem Gebiet. Er war einer der Hauptinitianten des ab 1936 auf dem Weissfluhjoch betriebenen Versuchslaboratoriums, aus dem 1943 das heute weltbekannte Forschungsinstitut hervorging. Die Arbeiten aus

Prof. Dr. P. Niggli
Rigistrasse 40
Zürich 6

Eidg. Technische Hochschule.
Schweiz. Schulrat.
Geschäftskontrolle № 3007

Zürich 30. Sept. 29

Telephon. erl. 3.12.29 Ro

Herrn Prof. Dr. A. Rohn
Präsident des Schweiz. Schulrates
Zürich V

Hochgeehrter Herr Präsident!

Da ich leider vorher erfahre, dass im Senat, dass im Sommer 1929 von mir als Präsident der gesteinskundlichen Kommission der S. N. G. eingereicht wurde, nicht vom Bundesrat gutgeheissen wurde, trotzdem in der Senatssitzung der S. N. G. allseitige Zustimmung und von der Vertretung des Bundesrates erhalten hat, muss ich Ihnen die Umstände für die Zukunft leider pessimistischer beurteilen. Ich habe gestern während meiner Tätigkeit als Präsident der gest. Kom. den Bedürfnissen unseres Landes entsprechend, die Arbeit zu verdoppeln. Heute liegen zur Durchlegung umfangreiche Arbeiten vor über den Chemismus der schweizerischen Gesteine, der Kohlen und Bitumen, über die Bodenverhältnisse der Kantone Zürich und Solothurn, über die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung, über mehrere Erzlagerstätten. Solche Arbeiten selber oder mit Mitarbeitern auszuführen, ohne den Nachteil der Ergebnisse der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden können, ist zwecklos und wirkt deprimierend. Es scheint aber nach der erhaltenen Mitteilung, dass die notwendige Erhöhung des Jahreskredits der gest. Kom. abgelehnt wurde.

Ich bitte Sie daher, hochgeehrter Herr Präsident, auch diese Frage bei einer allfälligen Besprechung mit Herrn Bundesrat Pilet in Erwägung zu ziehen. In Anbetracht der Dringlichkeit in der Forschungsangelegenheit, der ich am liebsten selber wieder dienen würde, fällt mir nicht leicht. Und wenn ich mich entschlossen habe in Zürich ganz zu bleiben, wegen gewisser Pläne (Übernahme der Generaldirektion der pharmazeutischen Institute bei deren Übersiedlung in das Chemiegebäude, Errichtung einer Bibliothek, Schriftenreihe und Lehrkurse zur weiteren Ausnutzung der Kräfte, Besoldungsfrage meines Vorschlag zur Teilung der 6 Ord. Professuren [Pharmakognosie, Pharmakologie, Pharmazie] in 4 Ord. Professuren [Pharmazie, Pharmakognosie, Pharmakologie, Toxikologie] erfüllt werden können so hoffe ich natürlich auch weiterhin in Frage, die mir Interesse, Wissenschaft der Bedürfnisse unseres Landes betreffen Entgegenkommen finden zu können. Wenn ich z. B. die Jahre traditionsverhältnisse meiner Heimat gelernt habe, so hat ich das weil ich glaube Normalverein damit ausgenommen, aber weil mir dies gelegentlich wie das wichtige auf der Höhe zu behalten eine Extraausgabe nötig sein wird.

Es mag sein, dass man in Fällen der Unsicherheit der Entwicklung besonders empfindlich ist, da man dann in erster Linie an die Zukunft zu denken hat, und so mögen Sie es entschuldigen, wenn ich in der Angelegenheit nochmals schriftlich an Sie gelange.

In vorzüglicher Hochachtung

Niggli

Abb. 1 Brief von Paul Niggli an den Schulratspräsidenten Prof. Dr. A. Rohn vom 30.9.1929. Damals erledigten die meisten Professoren der ETH ihre Korrespondenz noch handschriftlich. Oben rechts der Antwortvermerk: teleph. erl. 3.12.29 Ro».

den dreissiger Jahren erschienen 1939 unter dem Titel «Der Schnee und seine Metamorphose» (NIGGLI et al., 1939; engl. Übersetzung, 1954). Daran anknüpfende Arbeiten führten u.a. die Niggli-Schüler STEINEMANN (1958) und RÖTHLISBERGER (1972) aus.

Mit dem Tode Paul Nigglis 1953 verselbständigten sich die von ihm geschaffenen und um ihn gruppierten Institutionen zusehends. Das war auf verschiedene Gründe zurückzuführen, einer davon war bestimmt der, dass seine Ideen auf fruchtbaren Boden gefallen waren, was in verschiedenen Bereichen zu erfreulichem Wachstum führte, andererseits aber enge Zusammenarbeit erschwerte. Der Wegzug der gesamten EMPA nach Dübendorf im Jahre 1965 führte zu einem fast vollständigen Unterbruch der bis dahin für die Theorie und Praxis der Materialwissenschaften so erspriesslichen Zusammenarbeit.

Das «Erbe» Nigglis im Materialsektor kam erst später wieder zur Geltung. W. Epprecht, der bei ihm doktoriert und als Nachfolger des 1949 zum EMPA-Direktor (Hauptabteilung B) gewählten E. Brandenberger das Röntgenlaboratorium übernommen hatte, wurde 1966 Professor für Werkstofflehre an der Abteilung für Maschineningenieurwesen der ETH und erhielt den Auftrag, die bis dahin einzeln wirkenden ETH-Institute des Materialsektors zu vereinen. Das Departement für Materialwissenschaften (DMW) zog 1970 ins neue Maschinenlaboratorium ein und umfasste folgende Institute: Ingenieurchemie (später Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion), Metallurgie und Giessereikunde, Metallische Werkstoffe und EMPA-Lehrbetrieb. In letzterem wurden alle EMPA-Mitarbeiter mit Lehrtätigkeit zusammengefasst, womit die EMPA auch räumlich wieder einen festen Platz in der ETH erhielt (EPPRECHT et al., 1971). Der Geist von Paul Niggli wirkte gewissermassen auch noch nach, als an der ETH 1981 die neue Abteilung III D für Werkstoffingenieure eröffnet wurde. Die Materialwissenschaften werden auch in der jüngsten ETH-Planung als förderungswürdig anerkannt und es bleibt zu wünschen, dass sich auch die heute Verantwortlichen daran erinnern, welchen Weitblick und welche Energie Paul Niggli in der ganzen Zeit seines Wirkens an der ETH für diese Fachrichtung aufgebracht hat (DE QUERVAIN et al., 1953, BRANDENBERGER, 1953; Festschrift SMPM, 1948).

Literaturverzeichnis

BRANDENBERGER, E. (1932): Über die Verwendung der Röntgenstrahlen als Mittel der Materialprüfung, im besonderen die Anwendung der Kristallstruktur-Analyse bei Fragen der Materialprüfung. Manuskript vom 19.12.1932. Bibliothek EMPA, Dübendorf.

BRANDENBERGER, E. (1933): Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. Schweiz. Bauzeitung 102, Heft 4, 3-7.

BRANDENBERGER, E. (1934): Werkstofforschung und -prüfung mit Röntgenstrahlen. Antrittsvorlesung an der ETH Zürich. Techn. Rundschau Nr. 6, 9.2.1934.

BRANDENBERGER, E. (1935): Werkstoffprüfung ohne Werkstoffzerstörung. Schweiz. Archiv f. angewandte Wissensch. u. Technik 1, 46-48.

BRANDENBERGER, E. (1953): Paul Niggli als Forscher und sein wissenschaftliches Werk. ETH Kultur- und Staatswissenschaftl. Schriften 83, Zürich.

DE QUERVAIN F., MARQUARD, J. und SCHROETER, J. (1953): Prof. Dr. Paul Niggli 1888-1953. Biographie und Verzeichnis der Veröffentlichungen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 33, 1-20.

EPPRECHT, W. (1947): Versuche zur Synthese von Serpentin-Mineralien. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 27, 1-20.

EPPRECHT, W., BUKOWIECKI, A., ERISMANN, TH., MARINCEK, B., REISSNER, J. (1971): Das Institut für Materialwissenschaften der ETH-Zürich. Schweiz. Archiv f. angewandte Wissensch. u. Technik 37, 107-112.

FRIEDLÄNDER, C. (1951): Untersuchung über die Eignung alpiner Quarze für piezoelektrische Zwecke. Beitr. Geol. der Schweiz, Geotech. Serie, Lief. 29.

GROTH, P. (1921): Elemente der physikalischen und chemischen Kristallographie. Verlag R. Oldenbourg, München u. Berlin.

KLOCKMANN, F. (1922): Lehrbuch der Mineralogie. 7. und 8. Auflage, Verlag F. Enke, Stuttgart.

NIGGLI, P. (1918): (Diskussion der Alaunstruktur nach anderen Autoren.) Physikal. Z. 19, 225-234.

NIGGLI, P. (1920): Lehrbuch der Mineralogie. 1. Aufl., Gebrüder Borntträger, Berlin.

NIGGLI, P. (1921): «Auszüge» (Diskussion der Strukturbestimmung durch Vegard von Tetramethylammonium). Z. Krist. 56, 213-215.

NIGGLI, P. (1922/23): Die Kristallstruktur einiger Oxyde. Z. Krist. 57,. 253-299.

NIGGLI, P. (1929a): Mineralogie und Technik. Schweiz. Bauzeitung 94, 221-225, 233-234. Rektoratsrede ETH Zürich vom 14.10.1929.

NIGGLI, P. (1929b): Handschriftlicher Brief an Schulratspräsident Prof. A. Rohn. 30.11.29. Schulratsarchiv ETH Zürich No. 1929/2007.

NIGGLI, P. (1930): Materialprüfung der natürlichen Baustoffe. Denkschrift anlässl. 50jähr. Bestehens der Eidg. Mat. Prüfungsanstalt an der ETH Zürich.

NIGGLI, P. (1931): Reine und angewandte Naturwissenschaften. Rektoratsrede ETH Zürich vom 15.10.1928. Die Naturwissenschaften 19, 1-8.

NIGGLI, P. (1933): Die mikroskopische Prüfung der Strassenbaustoffe. Schweiz. Z. f. Strassenwesen 9, 139-143.

NIGGLI, P. (1941): Hochschulen und akademischer Nachwuchs. Schweiz. Hochschul. Z. 15, 264–282.

NIGGLI, P. (1946a): Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften. Verhandl. d. Schweiz. Naturf. Ges. Zürich, 9–25.

NIGGLI, P. (1946b): Mineralogie und Petrographie. Festschrift zur 200-Jahr-Feier d. Naturforsch. Ges. in Zürich, 190–206.

NIGGLI, P. und BRANDENBERGER, E. (1928): Die systematische Darstellung der kristallstrukturell wichtigen Auswahlregeln. Z. Krist. 68, 301–329.

NIGGLI, P. und BRANDENBERGER, E. (1931): Stereochemie der Kristallverbindungen II. Z. Krist. A. 79, 379–429.

NIGGLI, P. und BRANDENBERGER, E. (1949): Die Bedeutung der Kristallchemie für den Ingenieur. Schweiz. Bauzeitung 67, 32–33.

NIGGLI, P. und DE QUERVAIN, F. (1930): Die Zusammenarbeit der Geotech. Komm. der Schweiz. Naturforsch. Gesellschaft mit der Eidg. Materialprüfungsanstalt. In Niggli, P. (1930).

NIGGLI, P. und DE QUERVAIN, F. (1931): Anwendung mineralogisch-petrographischer Erkenntnisse auf die technische Materialprüfung nichtmetallischer anorganischer Stoffe. Internat. Verband f. Mat. Prüfung, Kongress Zürich.

NIGGLI, P. und FAESY, K. (1924): «Auszüge» (Diskussion der Strukturbestimmung der Scheelite durch Dickinson). Z. Krist. 59, 473–477.

NIGGLI, P., BADER, H., HAEFELI, R., BUCHER, E., NEHER, J., ECKEL, O. und THAMS, CHR. (1939): Der Schnee und seine Metamorphose. Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Serie, Hydrologie, 3. Lief.

NIGGLI, P., BADER, H., HAEFELI, R., BUCHER, E., NEHER, J., ECKEL, O. und THAMS, CHR. (1954): Snow and its metamorphism. Translation no. 14; Snow, Ice and Permafrost Res. Establishment; Corps of Eng. U.S. Army; Wilmette, Illinois.

RÖTHLISBERGER, H. (1972): Water pressure in intra- and subglacial channels. J. Glaciology 11, 177–203.

SMPM (1948): Festschrift Paul Niggli. Schweiz. Mineralog. Petrogr. Mitt. 28, 1–554.

STAHEL, A., JENNY, V. (1984): F. de Quervain, 1902–1984. Nekrolog und Verzeichnis der Veröffentlichungen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 64, 297–311.

STEINEMANN, S. (1958): Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis. Dissertation ETH Zürich. Beitr. Geol. Schweiz. Hydrologie Bd. 10.