

Die Beschreibung der Barriereigenschaften der Tone der Oberen Süßwassermolasse und Nordbayerns auf der Grundlage mineralogischer und kolloidchemischer Verfahren

Heimerl, H., Kohler, E. E., Billino, B. u. W. Santl

Angewandte Geologie, Universität Regensburg, Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg

Zusammenfassung

Für die Beschreibung der Barriereigenschaften von Tönen ist eine Analyse der spezifischen Oberflächeneigenschaften und der chemischen Resistenz der pseudoamorphen Begleitphasen Voraussetzung. Darüberhinaus sollte der Gesamtmineralbestand analysiert und interpretiert werden. An der Tönen der Oberen Süßwassermolasse und den Tönen Nordbayerns wurden diese Untersuchungen durchgeführt und in entsprechender Weise ausgewertet. Dabei wurde festgestellt, daß aufgrund der speziellen geologischen Situation der Einsatz der Tone der Oberen Süßwassermolasse als natürlicher Untergrund problematisch ist. Diese Tone könnten aber aufgrund guter Adsorptions- und Retardationseigenschaften für eine technische Barriere eingesetzt werden. Die Tone Nordbayerns sind aufgrund höherer Verfestigungen vermutlich auch klüftiger und besitzen aufgrund des geringeren Smectitgehaltes oft schlechtere Adsorptionseigenschaften. Sie kommen in größeren Schichtmächtigkeiten vor und eignen sich daher wohl besser als geologische Barriere.

Einleitung und Problemstellung

Grundsätzlich kann jede natürliche Tonschicht im Untergrund eines Deponiestandortes als TONBARRIERE wirken. Entscheidend für die Effektivität einer Barriere wird primär die Homogenität und die Mächtigkeit des Tones bzw. der Tonschicht sein. Das Rückhaltevermögen einer natürlichen Tonschicht wird aber auch von hydrogeologischen und geotechnischen Faktoren abhängen, die immer standortabhängig sein werden. Die vordergründig sehr verlockende Anlage von Deponiebauwerken in aufgelassenen Ton- oder Lehmgruben, die sich als natürliche Tonbarrieren anbieten, wird nur dann sinnvoll sein, wenn die beiden Grundvoraussetzungen für eine derartige Nutzung, nämlich homogene Verteilung des schadstoffimmobilisierenden Tonmaterials und eine ausreichende Mächtigkeit desselben zutreffend sind. Die Überprüfung der Homogenität einer natürlichen Deponieabdichtung hinsichtlich des Retardations- und Adsorptionsvermögens stellt mit Sicherheit den Geotechniker vor ähnlich große Probleme wie der

Bau einer vollkommen neu konzipierten Deponieanlage (KÖHLER 1995). In folgender Arbeit werden die Tone der Oberen Süßwassermolasse und Nordbayerns analysiert und bewertet.

Untersuchungsmethodik und deren Bedeutung

Die mineralogischen Untersuchungen umfassen Untersuchungen zu den Tonmineralen als Hauptkomponenten der Tone sowie Untersuchungen zu den kristallinen und pseudoamorphen Begleitphasen. Die Kenntnis der Tonmineralgehalte gibt qualitativen Aufschluß über Plastizität, über das Quell- und Schrumpfpotential, über Adsorptionsmöglichkeiten von Schwermetallionen und anderer potentieller Schadstoffe sowie über das mögliche Auftreten von Deformationsrissen eines Deponieuntergrundes. Ein allgemeines Konzept zur tonmineralogischen Analyse ist in Abb. 1 gegeben.

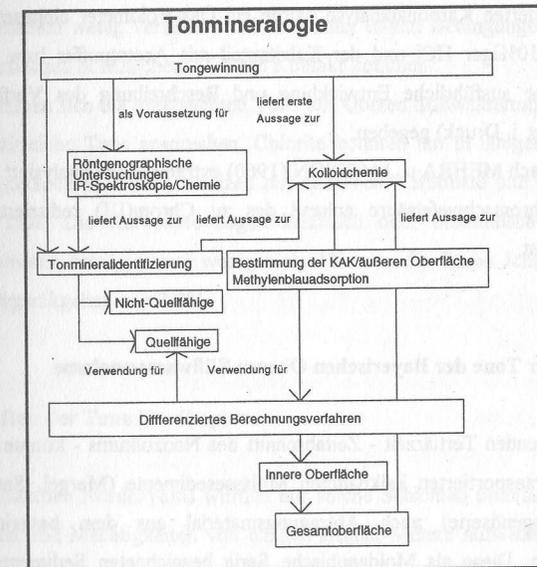


Abb. 1: Tonmineralogische Untersuchungsmethodik

Der erste Schritt der tonmineralogischen Analyse ist die Gewinnung der Tonfraktion d. h. der Korngrößenfraktion, deren Partikel kleiner als zwei μm sind und in der die Tonminerale angereichert sind. An der Tonfraktion werden infrarotspektroskopische, chemische und röntgenographische Untersuchungen durchgeführt. Darüberhinaus werden - aus der Kombination

von Kationenaustauschkapazität (MEHLICH 1948) und BET-Oberfläche (BRUNAUER et al. 1938) bei Kenntnis der Festladungsdichte - die innere Oberfläche und auch Smectitgehalte nach HEIMERL (1995; Diss. i. Druck) berechnet. Zur Beschreibung der Oberfläche wird darüberhinaus die Methylenblaumethode eingesetzt (HANG u. BRINDLEY 1970; JASMUND u. LAGALY 1993).

Bei der mineralogischen Analyse wird besonderer Wert auf die Charakterisierung pseudoamorpher Phasen gelegt. Pseudoamorphe Phasen wie Karbonate, Sesquioxide und Huminstoffe können als Bindemittel wirken, sind aber häufig chemisch instabil (HEIMERL et al. 1993). Sesquioxide und Huminstoffe tragen darüberhinaus wesentlich zur Schadstofffixierung bei. Aufgrund von Voruntersuchungen erschien eine differenzierte Karbonatanalyse notwendig. Bei einer Beaufschlagung mit einer sauren 0.1 m Zinkchloridlösung fiel auf, daß Kalzite nahezu vollständig in Zinkkarbonat umgebaut wurden, Dolomite aber kaum angegriffen wurden. Eine einheitliche Bewertung der Karbonate, wie z. B. in der TA Abfall gefordert, erscheint hier nicht sinnvoll. Zur differenzierten Karbonatanalyse wurde ein Gas-Volumeter eingesetzt, in dem das Gesamtkarbonat mit 10%iger HCl und der Kalzitanteil mit Azetatpuffer bzw. 0.1 m EDTA extrahiert wurde. Eine ausführliche Entwicklung und Beschreibung des Verfahrens wird in HEIMERL (1995; Diss. i. Druck) gegeben.

Sesquioxide wurden nach MEHRA u. JACKSON (1960) extrahiert und analysiert, die organische Phase wurde mit Chromschwefelsäure anhand des zu Chrom(III) reduzierten Chrom(VI) photometrisch bestimmt.

Die Eigenschaften der Tone der Bayerischen Oberen Süßwassermolasse

Während der ausklingenden Tertiärzeit - Zeitabschnitt des Neozoikums - konnte sich in die aus dem Alpengebiet antransportierten kalkhaltigen Molassesedimente (Mergel, Sande, Fein- und Mittelkiese der Hangendserie) auch Abtragungsmaterial aus dem bayerisch-böhmischen Grundgebirge mischen. Diese als Moldanubische Serie bezeichneten Sedimente sind in ihrer Ausbildung als Feldspatsande, in ihrem feinkörnigen Äquivalent als Tone abgelagert worden. Sowohl die Mächtigkeit der Tone von wenigen Dezimetern bis maximal wenigen Metern, als auch ihre laterale Verbreitung ist stark schwankend. Obwohl die Moldanubische Serie weit verbreitet ist, sind die Tone darin nicht flächenhaft sondern nur linsig ausgebildet (RUTTE 1981). Damit werden die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse vermutlich oft auch gegen die Anlage einer Neudeponie sprechen. Dabei zeigen die Tone der Bayerischen Oberen Süßwassermolasse im allgemeinen sehr gute Adsorptionseigenschaften, wie die hohen Smectit-

Illit- und Glimmergehalte und hohen spezifischen Oberflächen beweisen. Diese Tone weisen auch zufriedenstellende Retardationseigenschaften auf, wie die bestimmten Diffusionskoeffizienten zeigen (HEIMERL et al. 1994). Als technisches Abdichtungsmaterial, auch für extreme anorganische und organische Abfälle, sind die untersuchten Tone auf jeden Fall geeignet. Hier dürften sich auch die zu erwartenden geringen Scherfestigkeiten als unproblematisch erweisen.

Bei den hier untersuchten Proben handelt es sich um Lockergesteine. Ausdruck für den geringen Verdichtungsgrad ist das schnelle Auseinanderfallen der Probe und die gute Wasseraufnahmefähigkeit und damit hohe Porosität. Eine eindeutige Zuordnung zu bodenmechanischen Klassen wird nicht getroffen, da die vorliegenden Proben gestört sind. Der kaum konsolidierte Ton kann plastisch reagieren. Damit werden sich im Ton kaum Kluftsysteme befinden. Eine kolloidchemische Klassifizierung d. h. die Angabe der Kationenaustauschkapazität und der spezifischen Oberfläche ist sehr sinnvoll, weil die dazu notwendige Aufbereitung die Gesteinseigenschaften wenig verändert und weil unter in-situ Bedingungen Schadstoffe mit den Tonmineraloberflächen in ähnlichem Maße in Kontakt kommen.

Mineralogisch lassen sich die untersuchten Tone der Oberen Süßwassermolasse als glimmer- und zum Teil smectitreiche Tone ansprechen. Chlorite konnten nur in einigen Fällen nachgewiesen werden. Die untersuchten Proben besitzen nur zum Teil Karbonate und nur in wenigen Fällen Gehalte über 15%. Die Karbonate liegen kalzitisch oder dolomitisch vor. Der Gehalt an organischer Substanz beträgt meist weniger als 1%, nur die Probe Ichenhausen besitzt einen relativ hohen Organikgehalt von 3.0%.

Die Eigenschaften der Tone Nordbayerns

Von den Tongesteinen Nordbayerns wurden nur solche Schichten untersucht, die flächenhaft in Bayern auftreten und Mächtigkeiten von einigen Zehner-Metern aufweisen. Mit Ausnahme des Feuerletten und des Tertiärtons aus Kareth sind alle untersuchten Tone Nordbayerns stark verfestigt. Die ältesten hier untersuchten Tone Nordbayerns waren die Tone der Trias. Aus der Trias wurden Tone des Buntsandsteins und des Keuper, der geologischen Hauptformation Frankens, analysiert. Die untersuchten Tone des Keuper sind zum Teil limnisch-terrestrischen Ursprungs wie der Feuerletten, zum Teil lagunären Ursprungs wie die Myophorien- und Estheriensichten und die Lehrbergbänke. Die untersuchten Oberen und Unteren Röttone sind ebenfalls lagunären Ursprungs und dem Oberen Buntsandstein zuzurechnen. Im Gegensatz zu marinen Tönen sind Tone limnisch-terrestrischen oder fluviatilen Ursprungs weniger einheitlich als

Tone marinen Ursprungs. Trotz seines limnisch-terrestrischen Charakters besitzt der Feuerletten sehr einheitliche Karbonatwerte, wie bereits RUTTE (1981) feststellte. So wurde hier ein Kalzitgehalt von 11% festgestellt, an Proben von Udluft wurde ein Kalzitgehalt von 4.5% bzw. ein Dolomitgehalt von 5.0 % bestimmt. Der Kaolinitgehalt wurde hier und an Proben von Udluft, darüberhinaus von Salger zu 0 % bestimmt.

Neben den günstigen Retardationseigenschaften gegenüber Chlorid besitzt der Feuerletten auch hervorragende Adsorptionseigenschaften. Hier wurde am Feuerletten eine KAK von 34 mval/100g, an Proben von Udluft eine KAK von 29 bis 44 mval/100g bestimmt. Insgesamt weist der Feuerletten von allen untersuchten Proben Nordbayerns die höchste spezifische Oberfläche, die höchste KAK und den höchsten Smektitgehalt - in Wechsellagerung mit Illit - auf. Wegen seiner hervorragenden Adsorptions- und Retardationseigenschaften, wegen seiner idealen Bindemittelgehalte, wegen der idealen Milieuzusammensetzung seiner karbonatgepufferten Porenraumlösung - schwach basisch - sowie wegen seiner zum Teil hohen Mächtigkeit erscheint er hervorragend als geologische Barriere wie als mineralisches Abdichtungsmineral geeignet. Wie alle Keupertone ist der Feuerletten Grundwasserstauer - die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen nach Messungen an der Deponie Gosberg zwischen 10^{-9} m/s und 10^{-10} m/s. Dieses Verhalten ist mit Sicherheit auch gegenüber Deponiesickerwässern zu erwarten und spricht damit für den Feuerletten als geologische Barriere. Wie alle Keupertone ist der Feuerletten aber auch rutschungslabil. Dabei spielt im Feuerletten mit Sicherheit auch der hohe Smektitgehalt eine wesentliche Rolle. Auch der gegenüber den Tönen der Bayerischen Oberen Süßwassermolasse höhere Anteil an Wechsellagerungen des Smektit mit Illit bringt auch hier keine wesentliche Besserung der Verhältnisse.

Einen höheren Grad an Verfestigung als der Feuerletten zeigen die Lehrbergschichten. Für die KAK wurde hier ein Wert von 16 mval/100g, an Proben von Udluft von 11 bis 20 mval/100 g bestimmt, die effektive KAK dürfte aufgrund der Überkonsolidierung nach unten abweichen, Kluftsysteme dürften für Schadstoffe zusätzliche Transportwege bereithalten. Kaolinit ist kaum vorhanden, die Karbonatwerte sind stark schwankend. An der eigenen Probe wurde ein vernachlässigbar geringer Karbonatgehalt analysiert, an Proben von Udluft wurden Dolomitgehalte von 7 bis 50 % festgestellt. Die vom Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz geforderte Mindest-KAK von 10 mval/100 g wurde in jedem Fall eingehalten.

Die Estherien- und Myophorienschichten sind ebenfalls kaolinitfrei. Wegen hoher Karbonatwerte (größer 15%) erscheinen die Estherien- und Myophorienschichten als geologische Barriere problematisch. Aufgrund der Pufferwirkung, Schwermetallfällung, Zunahme der bodenmechanischen Stabilität, besseren Adsorption der Schwermetallionen an Tonminerale sowie Fällung der Schwermetallionen im schwach Basischen sind in der Deponietechnik schwach

karbonathaltige Tone zwar anzustreben, allerdings erscheint der Karbonatanteil in den Estheriensichten mit 42% Dolomitgehalt zu hoch. In den Myphorienschichten ist mit 22% Dolomitgehalt der Karbonatanteil noch immer sehr hoch, allerdings sollte in Erwägung gezogen werden, daß alles Karbonat als Dolomit vorliegt und damit chemisch relativ stabil ist. Die KAK der Myophorienschichten ist mit 12 mval/100g nach dem Anforderungskatalog an die Sorptionskapazität (GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 1994) hinreichend groß.

Die untersuchten Tone des Buntsandsteins, die Oberen und Unteren Röttone, besitzen mittleres Adsorptionsvermögen. Darüberhinaus sind sie stark überkonsolidiert, so daß ihr tatsächliches Adsorptionsvermögen eingeschränkt sein dürfte und Kluftsysteme vorhanden sein müßten. Sie besitzen eine KAK von 11-16 mval/100 g, an Proben von Udluft wurde eine KAK von 16-18 mval/100 g bestimmt. Die Oberen und Unteren Röttone sind durch gemäßigte Karbonatgehalte (Kalzit und Dolomit) charakterisiert.

Auf die Trias folgt das Jura. Die untersuchten Unterschichten des Jura, der Opalinuston, zum Dogger Alpha gehörend, und der Amaltheenton, zur Lias gehörend, sind marine und damit sehr einheitliche Ablagerungen. Damit wäre der Forderung an die Homogenität der geologischen Barriere in idealer Weise Rechnung getragen. Sowohl hier als auch für die Proben von Udluft wurde mit einer KAK von 15 mval/100g ein mittleres Adsorptionsvermögen festgestellt. Der Diffusionskoeffizient des Chlorids, der an der gestörten Probe bestimmt wurde, ist geringer als an allen anderen untersuchten Proben Nordbayerns. Hier spielen vermutlich die hohen Anteile an organischer Masse, die als "surface-coatings" gebunden sind und Chloridionen sorbieren bzw. deren Diffusionswege verändern können, eine entscheidende Rolle. Trotz des relativ geringen Smektitgehaltes von max. 10%, die in Wechsellagerungen - zusammen mit Illit - vorliegen, und trotz des mittelmäßigen Adsorptionsvermögens, zeigt der Opalinuston damit hervorragende Retardationseigenschaften. Inwieweit die Retardationseigenschaften auch bei intaktem Porengefüge vorhanden blieben, wäre an ungestörtem Probenmaterial zu überprüfen. Vermutlich werden im natürlichen Untergrund aber auch Kluftsysteme die Schadstoffmobilität mitbestimmen. Da aber der Ton relativ plastisch wirkt, werden Adsorptions- und Retardationseigenschaften zum Teil erhalten bleiben. Problematisch wird sich am Opalinuston die Rutschlabilität erweisen.

Trotz Gehalte an kalzitischem Bindemittel ist der Opalinuston bodenmechanisch extrem instabil. So war der Versuch der Ingenieure Karls des Großen im Jahre 793 die Donau über die niedrigste Stelle der Wasserscheide mit dem Main durch einen Kanal zu verbinden wegen des Opalinustones zum Scheitern verurteilt. Die ausgehobenen Erdmassen rutschten in den Graben zurück. Bereits 3 Grad Gefälle genügen, um hektargroße Flächen in Bewegung zu setzen (RUTTE 1981). Ursache dieses Verhaltens sind vermutlich die hohen Organikgehalte dieser Schichten, die zusammen mit

gequollenen Smektiten zwischen den Mineralkörnern Gleitebenen schaffen. An einer Probe wurde ein Organikgehalt von 3.7 % bestimmt, an Proben von Udluft wurden bis 5 % organische Substanz festgestellt. Als Grundwasserstauer und damit vermutlich auch Deponiesickerwasserstauer ist der Opalinuston als Barrierematerial auf jeden Fall dann interessant, wenn entsprechende bodenmechanische Voraussetzungen vorliegen.

Der Amaltheenton besitzt ähnliche mineralogische Zusammensetzung (Wechselagerungen aus Illit/Smektit, Karbonate, Kaolinit und Chlorit) wie der Opalinuston. Er besitzt auch relativ hohe Organikgehalte. Hier wurde ein Organikgehalt von 2.7 % bestimmt. Er besitzt allerdings geringere Schichtmächtigkeiten als der Opalinuston.

Aus dem Tertiär wurde eine Probe aus Kareth untersucht. Die hier untersuchte Probe besitzt hohe Kaolinitgehalte und keine Karbonate. Die Porenraumlösung ist damit nicht karbonatgepuffert, daher werden hier Schwermetallionen wesentlich schlechter und Anionen besser an den Tonmineralen adsorbieren als bei karbonatgepufferten Porenraumlösungen. Der lockere Tertiärton aus Kareth besitzt weniger gute Adsorptionseigenschaften als die restlichen untersuchten Tertiärton Bayerns, er ist aber als künstliche mineralische Dichtungsschicht aufgrund seines nahezu ausschließlich kaolinitischen Charakters als oberste Lage der Deponiebasisabdichtung geeignet.

Anhang: Untersuchungsergebnisse

Tab. 1: Mineralogische Untersuchungsergebnisse der Tone der OSM (Gehalte sind in Gew.% angegeben)

Probe	Kalzit	Dolomit	Smektite	Illit-Glimmer	Chlorit	Kaolinit	Organik	amorphe Fe(III)oxide
(Ichenhausen)	4.5	10.5	20	37	-	<5	3.0	0.2
(Aichach)	7.5	10.3	35	30	-	<5	0.2	0.8
(Buttenwiesen 1)	<1	-	15	32	-	22-27	0.3	2.7
(Buttenwiesen 2)	<1	-	25	42	-	20-24	0.9	1.1
(Sulding)	<1	-	30	48	-	<5	0.3	0.1
(Kröning 1)	<1	-	5	11	-	38-46	0.3	0.3
(Kröning 2)	<1	-	20	36	-	18-22	0.7	0.2
(Vatersdorf)	<1	-	10	41	-	<5	0.6	0.0
(Puttenham)	6.5	19.0	10	33	ca. 10%	<5	0.5	0.0
(Michelbach)	<1	-	25	44	-	<5	0.6	0.0
(Boxham)	5.0	7.0	10	47	ca. 10%	<5	0.9	0.5
(Steinheim)	5.5	16.5	20	38	ca. 10%	10	1.0	0.0

Tab. 2: Mineralogische Untersuchungsergebnisse der Tone Nordbayerns (Gehalte sind in Gew.% angegeben)

Probe	Kalzit	Dolomit	Wechselagerungen bestehend aus Smektit/Illit bzw. Smektit/Chlorit	Chlorit	Kaolinit	Organik
Feuerletten (Birkenschlag)	11	-	53	-	<5	0.8
Estheriensichten (Ansbach)	-	42	17	ca. 5	<5	1.7
Untere Röttone (Marktheidenfeld)	<2	<2	36	-	<5	0.6
Obere Röttone (Wiesefeld)	4	10	12	ca. 5	<5	0.8
Myophorien-sichten (Esterfeld)	<2	22	26	ca. 5	-	1.0
Amaltheenton (Unterstürmig)	6	-	26	ca. 10	17	2.7
Lehrbergsichten (Langenzenn)	-	-	51	-	-	0.8
Opalinuston (Schönlind)	6	-	35	ca. 10	27	3.7
OSM (Kareth)	-	-	5	-	80	0.6

Tab. 3: Kolloidchemische Untersuchungsergebnisse der Tone der OSM

Probe	KAK [mval/100g]	äußere Oberfläche (BET) [m ² /g]	Gesamtoberfläche aus BET-Oberfläche u. KAK [m ² /g]
OSM (Ichenhausen)	27	7	257
OSM (Aichach)	47	19	432
OSM (Buttenwiesen 1)	23	26	178
OSM (Buttenwiesen 2)	38	40	300
OSM (Sulding)	40	33	334
OSM (Kröning 1)	14	23	94
OSM (Kröning 2)	27	14	242
OSM (Vatersdorf)	21	40	130
OSM (Puttenham)	20	4	192
OSM (Michelbach)	34	5	325
OSM (Boxham)	15	11	128
OSM (Steinheim)	21	5	200

Tab. 4: Kolloidchemische Untersuchungsergebnisse der Tone Nordbayerns

Probe	Gesamtoberfläche Methylenblau [m ² /g]	BET-Oberfläche [m ² /g]	KAK [mval/100g]	Gesamtoberfläche aus BET- Oberfläche u. KAK [m ² /g]
Feuerletten (Birkenschlag)	203	17	34	169
Estheriensichten (Ansbach)	32	7	8	38
Untere Röttone (Marktheidenfeld)	42	16	11	48
Myophorienschichten (Estenfeld)	40	22	12	50
Amaltheenton (Unterstürmig)	58	11	14	67
Lehrbergschichten (Langenzenn)	110	22	16	71
Opalinuston (Schönlind)	70	25	15	64
Tertiärton (Kareth)	71	16	14	64

Literaturverzeichnis

Brunauer, S., Emmett, P. H. u. Teller, E., 1938: Adsorption of gases in multimolecular layers, J. Am. Chem. Soc. 60(1938), S. 309-319.

Hang, P. T. u. Brindley, G., 1970: Methylene blue adsorption by clay minerals. Determination of surface areas and cation exchange capacities. -Clays and clay minerals, 18(1970), S. 203-212.

Hashimoto, J. u. Jackson, M. L., 1960: Rapid dissolution of allophanean Kaolinite-halloysite after dehydration. - Clays and Clay Minerals, 7, S. 102 - 113.

Heimerl, H., 1995: Methodenoptimierung zur Analyse der Schadstoffmobilität in tonhaltigen Deponiedichtungsmaterialien, Diss. im Druck, Regensburg.

Heimerl, H., Kohler, E. E. u. Treml, H., 1994: Die Analyse des Schadstofftransportverhaltens in Tonen und Tongesteinen; DTTG-Veröffentlichungen; im Druck.

Jasmund, K. und Lagaly, G. (Hrsg), 1993: Tonminerale und Tone. 490 S., Steinkopff Verlag (Darmstadt).

Kohler, E. E., 1995: Tonminerale als Helfer der Menschheit; im Druck. In: Regensburger Forschungsmagazin.

Mehlich, A., 1948: Determination of cation- and anion exchange properties of soils. Soil Sci. 66(1948), S. 429-445.

Mehra, O. P. u. Jackson, M. L., 1960: Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered by natrium-bicarbonat. In: Clays and Clay Miner., Proc., 7th Conf., Nat. Acad. Sci., Natl. Res. Council Publ., S. 317-327.

Rutte, E. (1981): Bayerische Erdgeschichte.