

DER KÄNOZOISCHE WERDEGANG DES EXKURSIONSGEBIETES

Wolfgang SCHIRMER

Inhalt:

1. Die vorrheinische Zeit
2. Die Zeit des Kaiserstühler und Lothringischen Rheins
3. Die Zeit des alpinen Rheins
 - 3.a. Der Rhein im Unterpleistozän
 - 3.b. Der Rhein im Mittelpleistozän
 - 3.b.1. Ausbildung eines Engtals mit starker Tiefenerosion des Flusses
 - 3.b.2. Belebung des Vulkanismus in der Eifel
 - 3.b.3. Gliederung der Mittelterrassen durch Lößdeckschichten
 - 3.b.4. Mittelterrassen und Inlandeis
 - 3.c. Der Rhein im Oberpleistozän
 - 3.d. Der Rhein im Holozän
4. Zur Lößgliederung am Mittel- und Niederrhein
5. Zur Niederterrassen-Gliederung am Mittel- und Niederrhein

Literatur

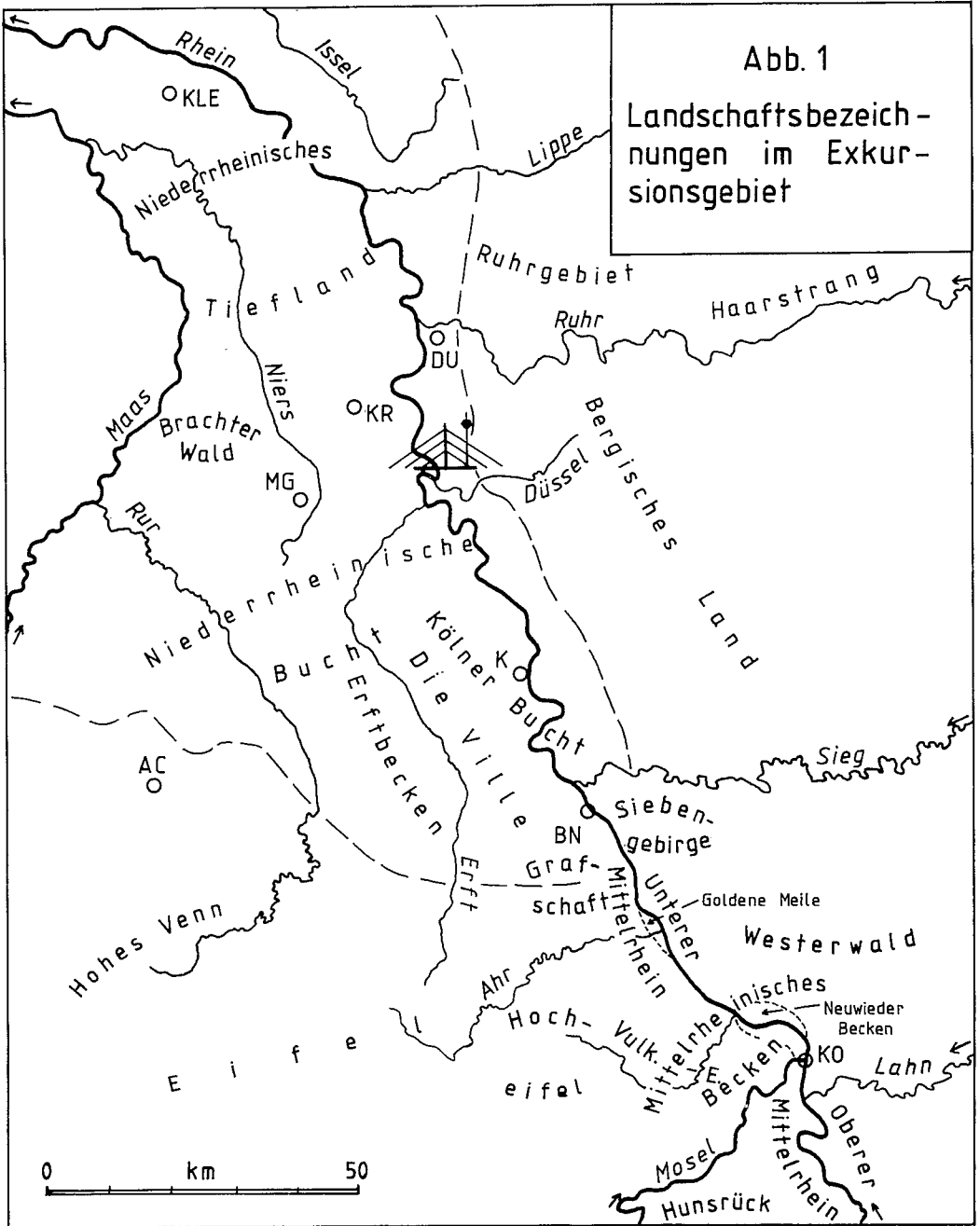
Das Rheingebiet, als eines der vollständigsten erhaltenen terrestrischen jungtertiär- und quartärzeitlichen Sedimentationsgebiete, unterliegt einem raschen Forschungsfortschritt. Der vorliegende Exkursionsführer gibt für den Rheinabschnitt zwischen Koblenz und Rees einschließlich einiger Randgebiete (Abb. 1 u. 2) einen Einblick in die derzeitigen Forschungsschritte einschließlich aller Kontroversen, die vielseitige Forschung stets mit sich bringt.

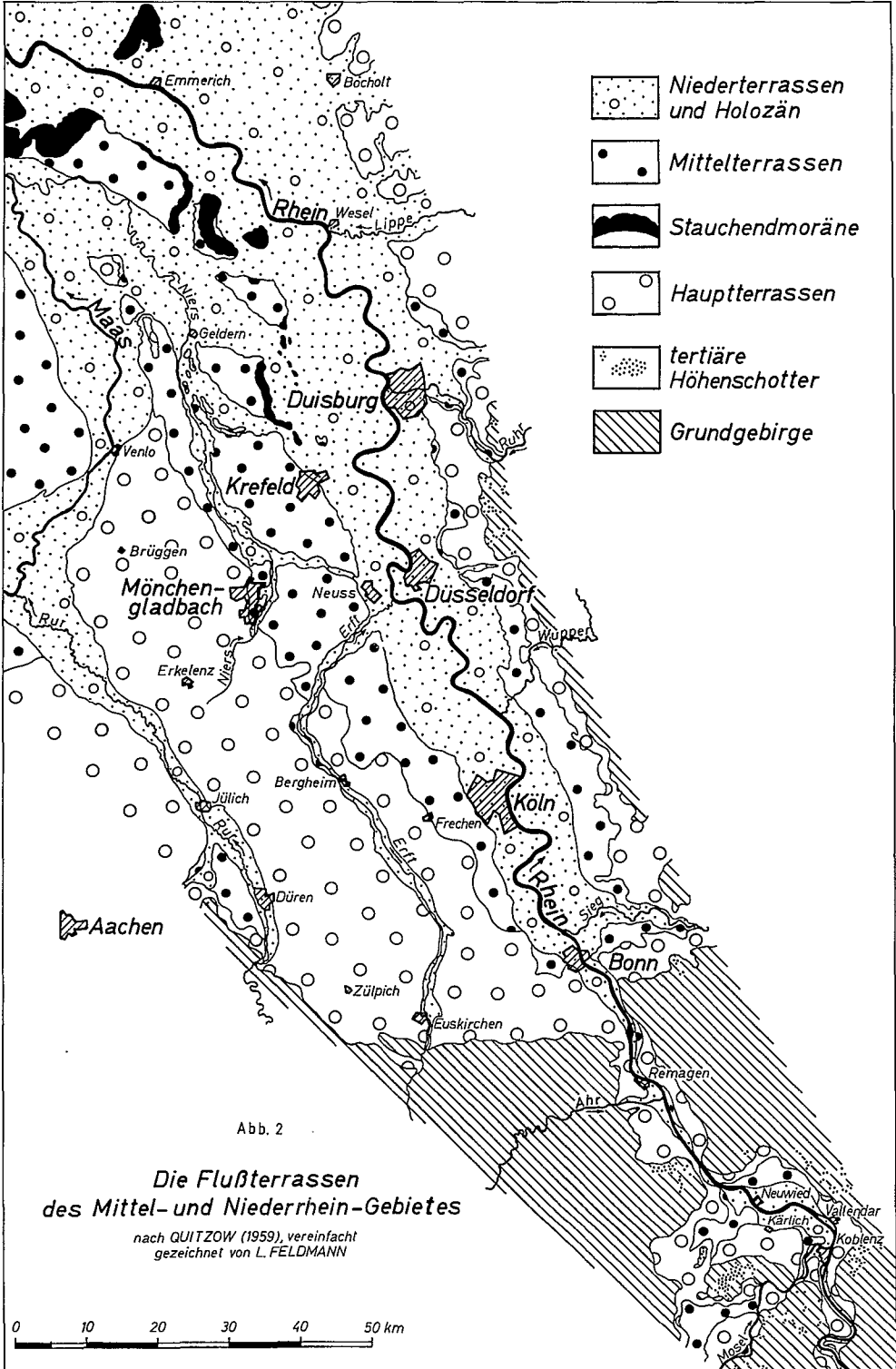
Immer wieder wurde in zwischenliegender Zeit der Forschungsstand über diesen Raum oder weiter ausgreifende Rheinabschnitte zusammengefaßt. An jüngeren Arbeiten seien zum Beispiel diejenigen von KAISER (1961), QUITZOW (1974), HESEMANN (1975), BREMER & PFEFFER (1978), Fortschritte .. (1978), BRUNNACKER (1980), Fortschritte .. (1981), FUCHS et al. (1983), ANDRES et al. (1989), ZAGWIJN (1989) genannt.

Die folgende Einführung in das Exkursionsgebiet betont daher die neueren Ergebnisse und weist jeweils auf die zugehörigen Themen und Lokalitäten, die im Exkursionsteil vorgestellt werden, hin.

1. Die vorrheinische Zeit

Das Rheinische Schiefergebirge erlebt seit der variskischen Faltung vom Unterkarbon bis ins Westfal vorwiegend Hebung, so daß es als tektonische Hochscholle vorliegt. Einzelne Teile unterlagen seit Perm nur der Verwitterung und Abtragung. Die ältesten Verwitterungsrelikte des Schiefergebirges werden dem Perm (MÜCKENHAUSEN 1978: 24), andernorts der Kreide (MÜCKENHAUSEN & SCHALICH 1982: 178, MEYER et al. 1983: 40) zugeschrieben, die ältesten erhaltenen Rumpfflächen der Kreidezeit (LÖHNERTZ 1978: 203). Hebungsphasen des Schiefergebirges sind im Oberkarbon/Perm, an der Jura/Kreide-Wende und im Tertiär/Quartär bedeutsam (FUCHS et al. 1983: 10 f). Die letzte dieser Hebungs-





phasen setzte an der Kreide/Tertiär-Wende ein. Das Gebirge aber hob sich nicht weit über den Meeresspiegel. Tiefgründige Verlehmung des Gebirges wird vor allem prä-oligozäner Verwitterung sowie hydrothermale Zersetzung zugeschrieben (MEYER et al. 1983: 41). Ablagerungen eines ältesten Flußsystems, die Vallendarer Schichten (MORDZIOL 1908: 276) bzw. Vallendar-Schotter (MORDZIOL 1936: 283), überliefern von der Wende **Eozän/Oligozän** (LÖHNERTZ 1978: 198) erstmals Reliefdaten des Gebirges (Abb. 3). MORDZIOL (1908: 282), KURTZ (1938: 143) und QUITZOW (1969: 58) rekonstruieren den Fluß an Hand von Leitgeröllen aus dem Süden des Schiefergebirges (Vogesen, Saar) über das Schiefergebirge hinweg zum Niederrhein-Maasraum. MEYER et al. (1983: 43) dagegen folgern eine west-östliche Senkungsachse etwa entlang des Mosel-Lahntroges als Haupttransportsystem, stellenweise bis 80 m tief eingeschnitten, mit gerundeten Geröllen aus dem Vogesenraum. Die Abflußrichtung des Flußsystems vom Neuwieder Becken aus ist unbekannt. Die heutige west-östliche Eifel-Westerwald-Wasserscheide war nach dieser Vorstellung damals schon aktiv. Zahlreiche Vorkommen eckiger Lokalschotter (Exkursion A1) werden Schiefergebirgsflüssen, bzw. Schiefergebirgsabspülmassen zugeschrieben.

Mit der Vallendarer Zeit geht auch eine tektonische Zerlegung des Gebirges einher. Das Neuwieder Becken, Limburger Becken und das Westerwälder Becken sinken ein und nehmen mächtigen Schiefergebirgszersatz als Tonablagerungen auf (Exkursion A4).

Ab **Mittel-Oligozän** senkte sich dieses Relief so weit ab, daß das Meer in die Senkungszone einbrach. Das Mittelrheinische Becken und die Westeifel-Mosel-Region waren mit Sicherheit davon betroffen. Vielleicht erfolgte der Einbruch vom Mainzer Becken her (NEGENDANK 1983: 86).

In dieser Zeit greift nun das Westeuropäische Riftsystem, das heute über den Rhone-Oberreingraben, das Schiefergebirge, den Niederrhein-Graben und Zentral-Niederländischen Graben in den Nordsee-Graben zieht, entscheidend in die junge Formgebung des Schiefergebirges ein (Abb. 4).

Im **Mitteloiligozän** beginnt die Niederrheinische Bucht einzubrechen (Abb. 5). Auch der Rheintrog im Schiefergebirge senkt sich ein (QUITZOW 1978: 31). Eine Verbindung der Niederrheinischen Bucht über Mittelrheinisches Becken - Limburger Becken - Idsteiner Senke zum Oberrheingraben bahnt sich an. Gleichzeitig wird der Höhepunkt des tertiären Vulkanismus in Hocheifel, Siebengebirge und Westerwald erreicht, der bis ins Untermiozän anhält (LIPPOLT 1983: 115).

Noch liegt die Wasserscheide in Höhe des Laacher Sees. Eine weite Küstenebene dehnt sich gegen die Niederrheinische Bucht über Westerwald und Siebengebirge mit Verwitterungslehmen und Braunkohlesümpfen aus (MEYER et al. 1983: 43). Ein erster Rhein muß von der Wasserscheide bei Brohl zur Niederrheinischen **Oberoligozän**-Bucht mit Küste im Raum Bonn entwässert haben - ein "Rheinchen". Die neue tektonische Richtung im Schiefergebirge ist die Geburtsstunde des Rheins.

2. Die Zeit des Kaiserstühler und Lothringischen Rheins

Ob im **Untermiozän** noch einmal längs der neuen tektonischen Rheinachse eine marine Verbindung erfolgt, wird erwogen (MEYER et al. 1983: 43). Die biostratigraphischen Angaben für das Ende der marinen Sedimentation im Mainzer Becken schwanken zwischen tieferem Untermiozän und tieferem Mittelmiozän (ROTHAUSEN & SONNE 1984: 5). Frühestens also im tieferen Untermiozän hat sich das Oberrhein-Gebiet so gehoben, daß das Meer im

Chrono- stratigraphie		Magnet- Epochen	O-Isotopen- stufen	Niederrhein	Mittelrhein	Rheinumgebung	absolute Alter v.h.
HOLOZÄN			1	Mehrere Auenterrassen			
Oberpleistozän	Jüng. Dryas			Unterstufe der NT3	Jüngere Niederterrassen		10000
	Alleröd					Laacher See-Tephra	11000
	Mittl. Dryas		2				
	Bölling						
	Alt. Dryas						
	Hochwürm			NT 2	Ältere Niederterrasse	Löß + Naßböden Eltville - Tephra	13500
	Mittelwürm			NT 1			
	Unterwürm		3			Sinziger Böden + Löß Remagener Böden + Löß	
	Eem		4			Löß Mosbacher Humuszonen	
Mittelpleistozän			5	Weeze-Interglazial			
	Saale 2		6	MT 4	UMT		128 000
	Bantega/ Hoogeveen		7	Kempener Schichten		Hüttenberg-Tephra	215 000
	Saale 1		8	MT 3 ? Saale-Vorstoß			
	Holstein		9	Krefeld-Interglazial	drei		
	Elster		10	MT 2 ? Elster-Vorstoß	Mittelterrassen		
	Cromer IV		11	Frimmersdorf-Intergl.	(=Engtalhang-T.)	? Kärlich-Interglaz. ? Ariendorf-Intergl.	400 000
	Glazial C		12	MT 1			
	Cromer III		13	HT 4			
	Glazial B		14-15				
Cromer II		18	Ville-Intergl.-Komplex		B _b	730 000	
Cromer I		19					
Unterpleistozän	Dorst		20	HT 3			
	Leerdam		21	HT 2	4 bis 5 Treppenterrassen	B _b	
	Linge		22	HT 1	(=Hochtalboden-T.)		
	Bavel		23	Frechen-Warmzeit III	Alpenrhein		
	Menap			Schotter d			900 000
I	Waal			Frechen-Warmzeit II			
	Eburon			Schotter c			
				Frechen-Warmzeit I			
II				Schotter b2			
	Tiglium			Fortuna-Warmzeit			
III	Prätiglium			Schotter b1			
				Reuver-Ton	Alpenvorlandrhein		2,2 Mio 2,4 Mio
PLIOZÄN	Brunssumium			Schotter a	Kieseloolith- schichten	3 Treppen- Terrassen	3,3 Mio
				Rotton-Serie	Lothringischer Rhein		5 Mio
MIOZÄN	Ober			Hauptkies-Serie			
	Mittel			Braunkohle- Flöz	Kaiserstühler Rhein		
	Unter				? marin		
OLIGOZÄN	Ober			marin	Brohler Rhein		22,5 Mio
	Mittel			Schichtlücke	marin		
	Unter				Vallendar-Schichten		37,5 Mio

Abb. 3: Stratigraphisches Schema der im Text behandelten Begriffe.

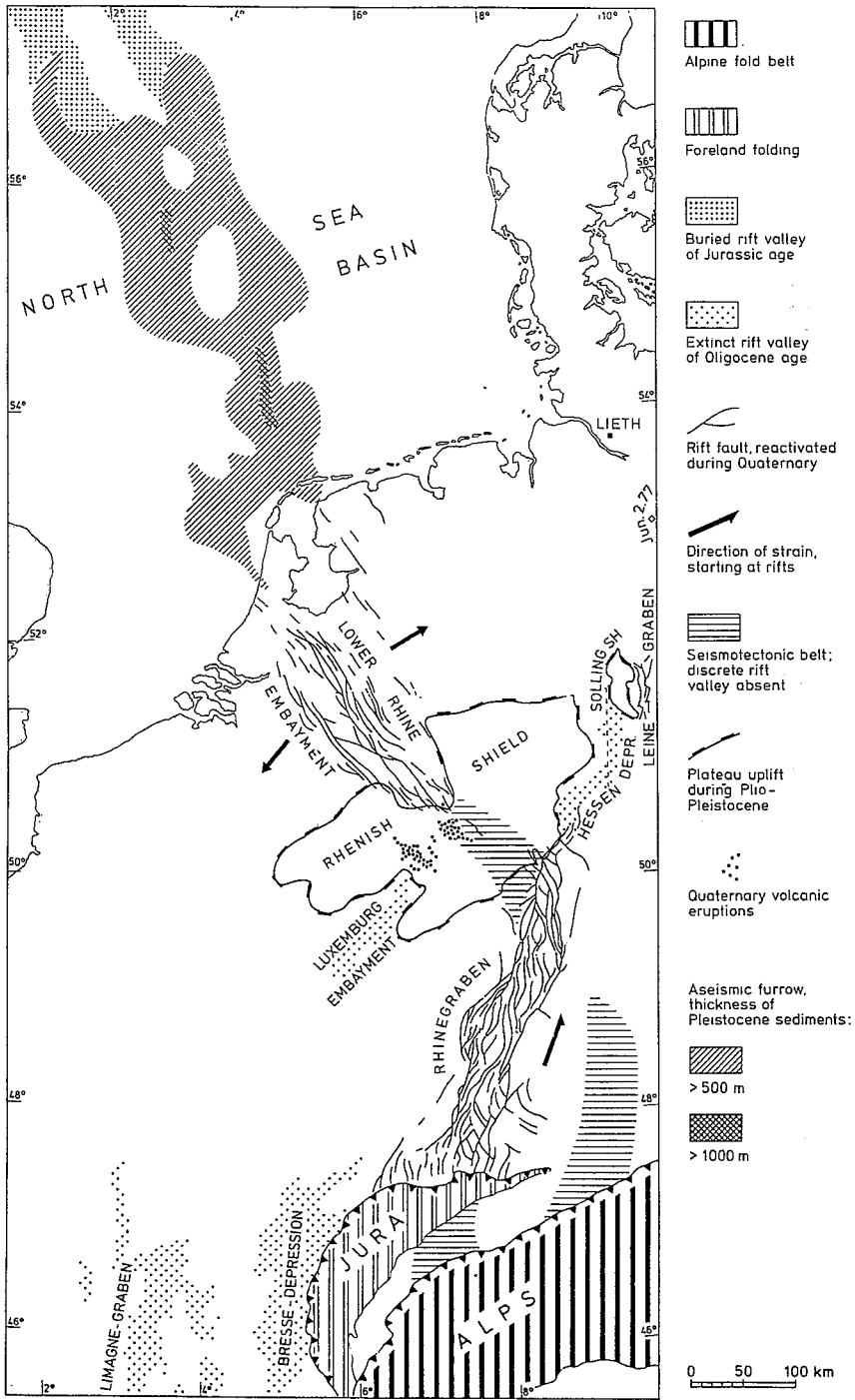


Abb. 4: Westeuropäisches Riftsystem (ILLIES & BAUMANN 1982: 137).

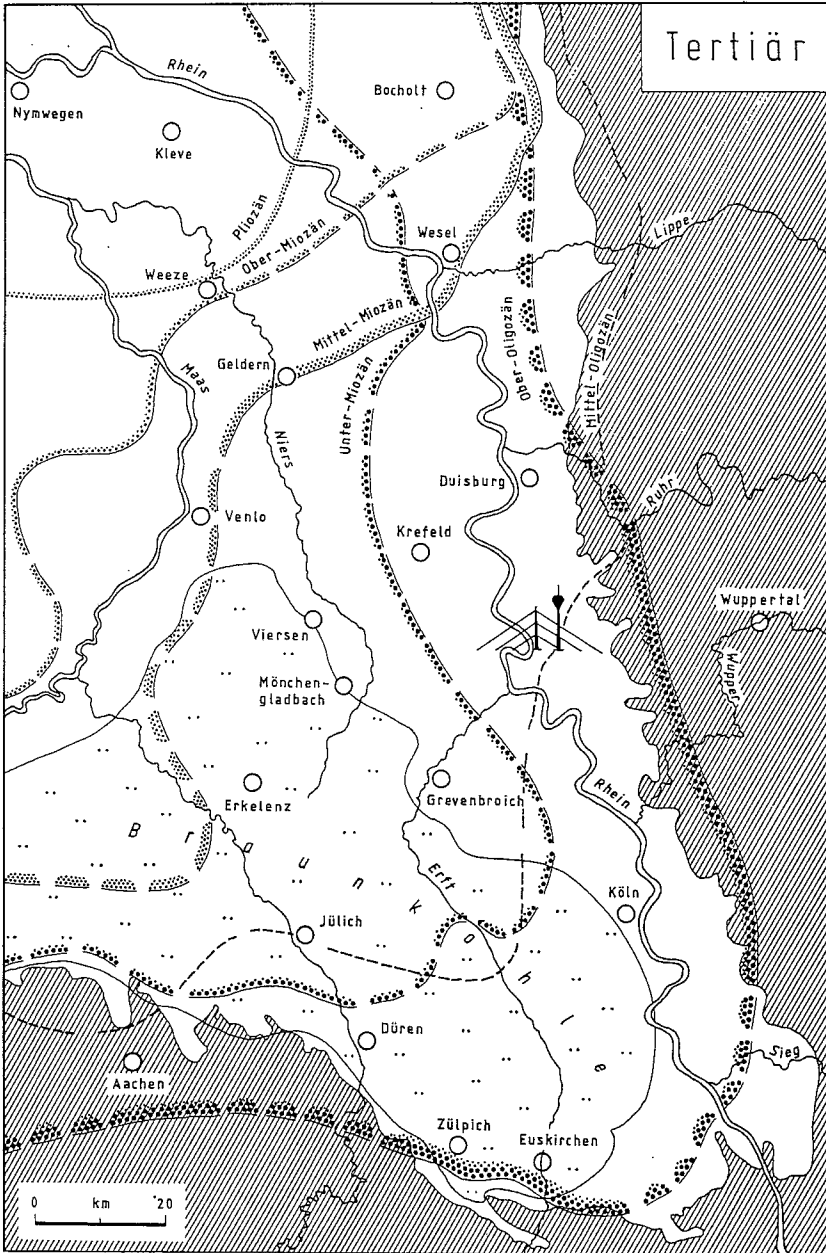


Abb. 5: Der Niederrhein im Tertiär. - Küstenlinien nach H. W. QUITZOW. Aus SCHIRMER (1988: 57).

nördlichen Rheingraben aussüßte und der nachfolgende fluviatile Abfluß von Süd nach Nord längs der tektonischen Rheinachse erfolgte (Abb. 6A). BOENIGK (1982: 168) nämlich findet spätestens im **Mittelmiozän** der Niederrheinischen Bucht bis 10 m tiefe Flußrinnen, die Sedimente eines Schwermineralspektrums bergen, das er vom mittleren Oberrhein und Randgebieten herleitet mit zugehörigem Quellgebiet des Rheins etwa im Raum des Kaiserstuhls (Exkursion A12).

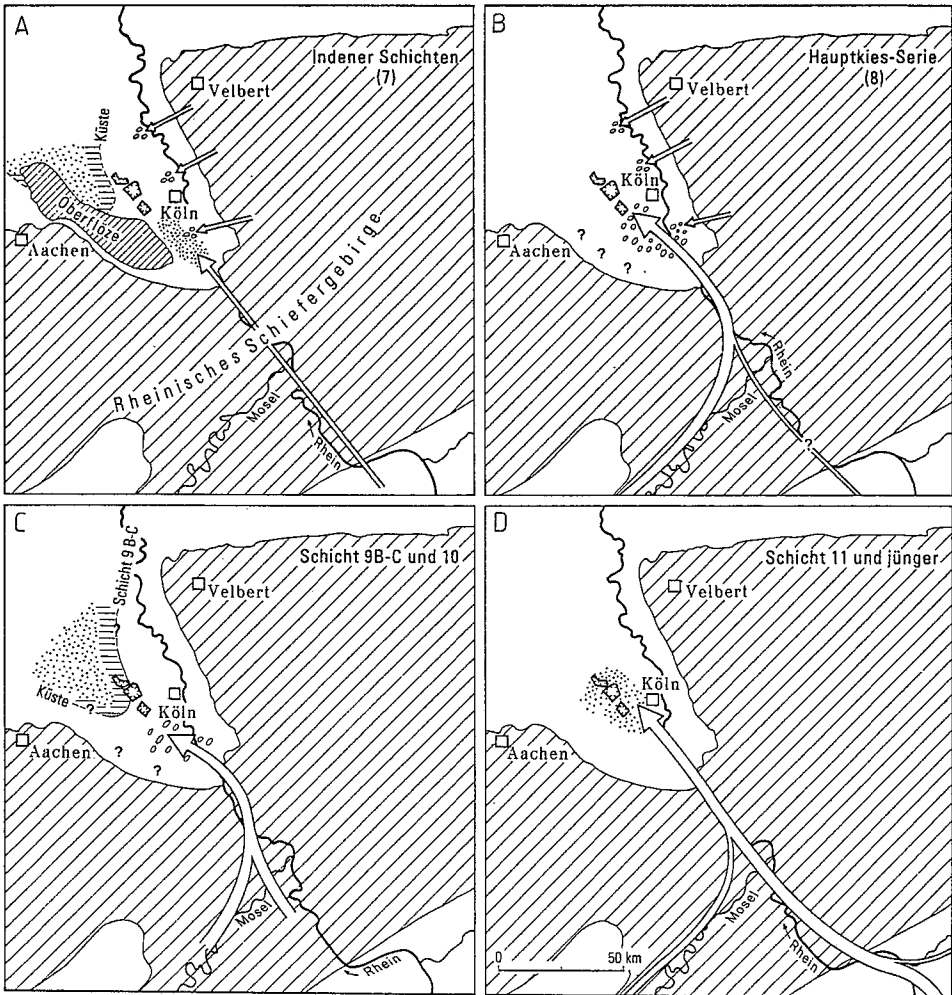


Abb. 6: Zuflüsse zur Niederrheinischen Bucht im Tertiär
 A) im mittleren Miozän B) im Obermiozän - Unterpliozän
 C) im Mittel- bis Oberpliozän D) im obersten Pliozän und Ältestpleistozän
 (BOENIGK 1981: 251).

Auch in der Niederrheinischen Bucht weicht im Untermiozän das Meer zurück und hinterläßt ein Lagunen- und Deltamilieu im Bereich der Rheinmündung. In diesem Milieu entsteht die ca. 135 m mächtige Braunkohle der Niederrheinischen Bucht, deren Bildung bis ins Obermiozän reicht (HAGER 1981: 541) (Exkursion A12, F).

Ein erster schotterführender Rhein tritt mit dem Kieseloolithschotter (KAISER 1903: 209) auf, der ins **Obermiozän** und **Pliozän** gestellt wird (BOENIGK 1981: 252, HAGER 1981: 541). An Hand fossilführender und petrographisch typischer Kieseloolithe des Muschelkalks und Juras von Lothringen kann ein Ur-Rhein rekonstruiert werden, der seinen Hauptweg über die Mosel nahm und den eigentlichen Rhein im Mittelrheinischen Becken vielleicht als Seitenfluß aufnahm (BOENIGK 1981: 242, vgl. Abb. 6B) (Exkursion A2, A11, A12).

Hebung im Schiefergebirge führt während dieser Sedimentation zur Ausbildung einer ersten Terrassentreppe aus drei Aufschüttungsniveaus (BIBUS 1980: 29), Senkung in der Niederrheinischen Bucht dagegen zur Fortführung des Terrassenstapels seit dem Oligozän. Zwei bis drei petrographisch unterschiedliche Schotterkörper bauen den Stapel der Kieseloolithschichten dort auf (BOENIGK 1982: 169).

3. Die Zeit des alpinen Rheins

Im jüngsten **Pliozän**, etwa an der Wende von der Gauss- zur Matuyama-Epoche (vor 2,44 Mio a), muß die Kaiserstuhlwasserscheide durch Hebung im Schweizer Juragebiet und Molassebecken gefallen sein. Der Rhein gewann Zugriff zum Alpenvorland. Im Schwermineralspektrum der jüngstpliozänen Niederrheinsedimente vollzieht sich nämlich ein drastischer Wechsel eines stabilen Pliozänspektrums zu Gunsten eines mit den weniger stabilen Mineralen, wie Titanit, Epidot und Hornblende (BOENIGK 1982: 169). In dieser Zeit muß dann auch der Rhein des heutigen Verlaufs sein eigener Hauptsedimentlieferant geworden sein, und die Mosel floß ihm als Nebenfluß zur Linken zu (Abb. 6D) (Exkursion A12, A15). Das Niederrheingebiet verbleibt noch ein sumpfiges Deltagebiet (BOENIGK 1978 a: 5), wenn auch die Küste Ende Pliozän schon über die niederländische Grenze nordwestlich zurückgewichen ist (ZAGWIJN 1989: 114).

Die **Tertiär-Quartär-Grenze** ist am Rhein geobotanisch durch einen Wechsel von einem typisch pliozänen Pollenspektrum zu einem kühleren zwischen dem Reuverium und Prätigium festgelegt (ZAGWIJN 1957). Aber auch der Wechsel der Molluskenfaunen oder der Schotterzusammensetzung kennzeichnen diese terrestrische Tertiär-Quartär-Grenze (BOENIGK et al. 1974), wenn auch nicht genau gleichzeitig in der selben Ablagerung.

3.a. Der Rhein im Unterpleistozän

Das **Unterpleistozän** ist durch deutliche Kalt-Warm-Schwankungen geprägt, die sich geobotanisch, aber auch durch den Wechsel von warmzeitlich feinklastischer zu kaltzeitlich grobklastischer Sedimentation dokumentieren. Die Tendenz des Pliozäns setzt sich fort: Hebung und damit Terrassentreppen-Bildung im Schiefergebirge, Senkung und Sedimentstapelung am Niederrhein. Die Sedimentstapelung ist in der Niederrheinischen Bucht ein wesentliches Charakteristikum für das Unterpleistozän im Gegensatz zum Mittel- und Oberpleistozän mit seinen Treppenterrassen. Hauptabsenkungsbereich war dort der Westteil der Niederrheinischen Bucht, das Erftbecken mit seiner nördlichen Fortsetzung, dem Venloer Graben und westlich parallel dazu die Senkungszone Rurtal-Graben - Niederländischer Zentralgraben (vgl. AHORNER 1962, ZAGWIJN 1989) (Abb. 7) (Exkursion A12, F).

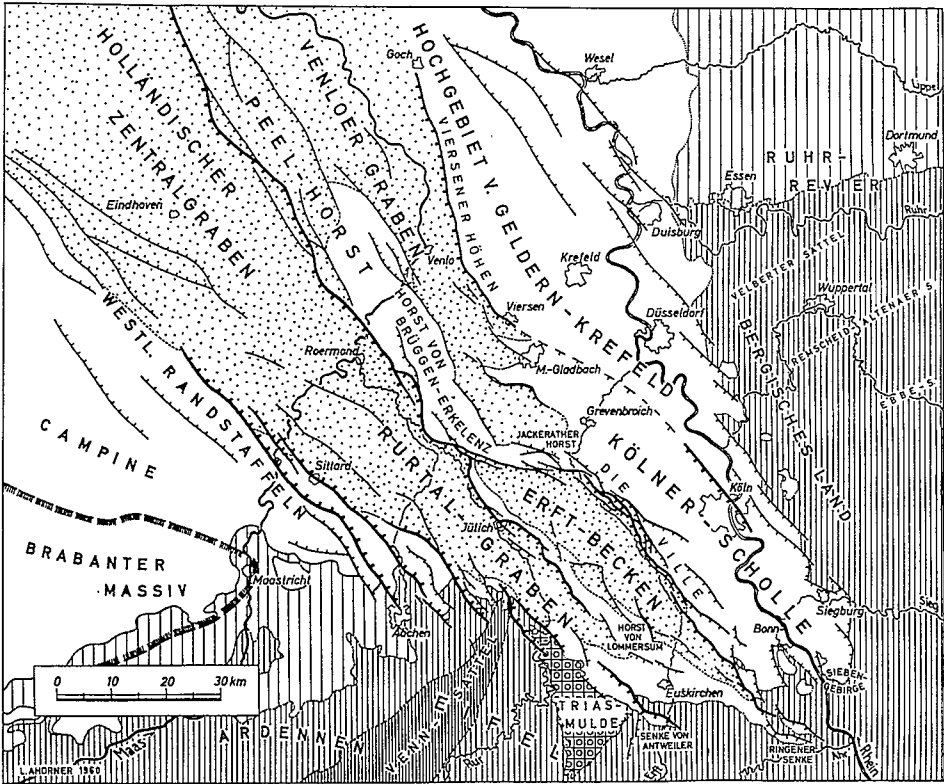


Abb. 7: Tektonische Übersicht des Niederrheingebietes (AHORNER 1962: 28).

Eng schraffiert = Paläozoikum, weit schraffiert = Oberkreide, weiß = Tertiär und Quartär
(känozoische Hauptsenkungsgebiete punktiert).

Im Senkungsbereich läßt sich ein Stapel von knapp 100 m Sedimenten des Unter-Pleistozäns dreigliedern:

	BOENIGK (1978a)
Unteres Pleistozän III	Hauptterrassenfolge
Unteres Pleistozän II	Ältestpleistozän II
Unteres Pleistozän I	Ältestpleistozän I

Im **Unterspleistozän I** beliefern der Rhein und ganz im Westen die Maas die Niederrheinische Bucht (Abb. 8). Die Ablagerungen kennzeichnen noch das sumpfige Flußmündungsmilieu, wie es schon im Pliozän geherrscht hat (BOENIGK 1978 a: 7). Die Küste liegt innerhalb der Niederlande (ZAGWIJN 1989: 111).

Im **Unterspleistozän II** dagegen rückt das Rheindelta bereits über die ganzen Niederlande vor, so daß die Niederrheinische Bucht jetzt vom sumpfigen Deltabereich in den rein fluviatil geprägten Unterlauf des Rheins gelangt (BOENIGK 1978 a: 7), in dem heute etwa das Niederrheinische Tiefland liegt. Im späteren Unterspleistozän II schiebt sich die Maas in die Niederrheinische Bucht gegen den Rhein so weit nach Osten vor, daß heute ihre feuersteinreichen Schüttungen bis in den Raum Mönchengladbach - Grevenbroich verfolgbar sind (SCHNÜTGEN 1974: 77) (Exkursion A13). In den zeitgleichen Rheinsedimenten wurden die

bisher ältesten alpinen Radiolarite gefunden (SCHNÜTGEN & BRUNNACKER 1976). Spätestens Ende Unterpleistozän II also hat der Rhein vollen Alpenanschluß.

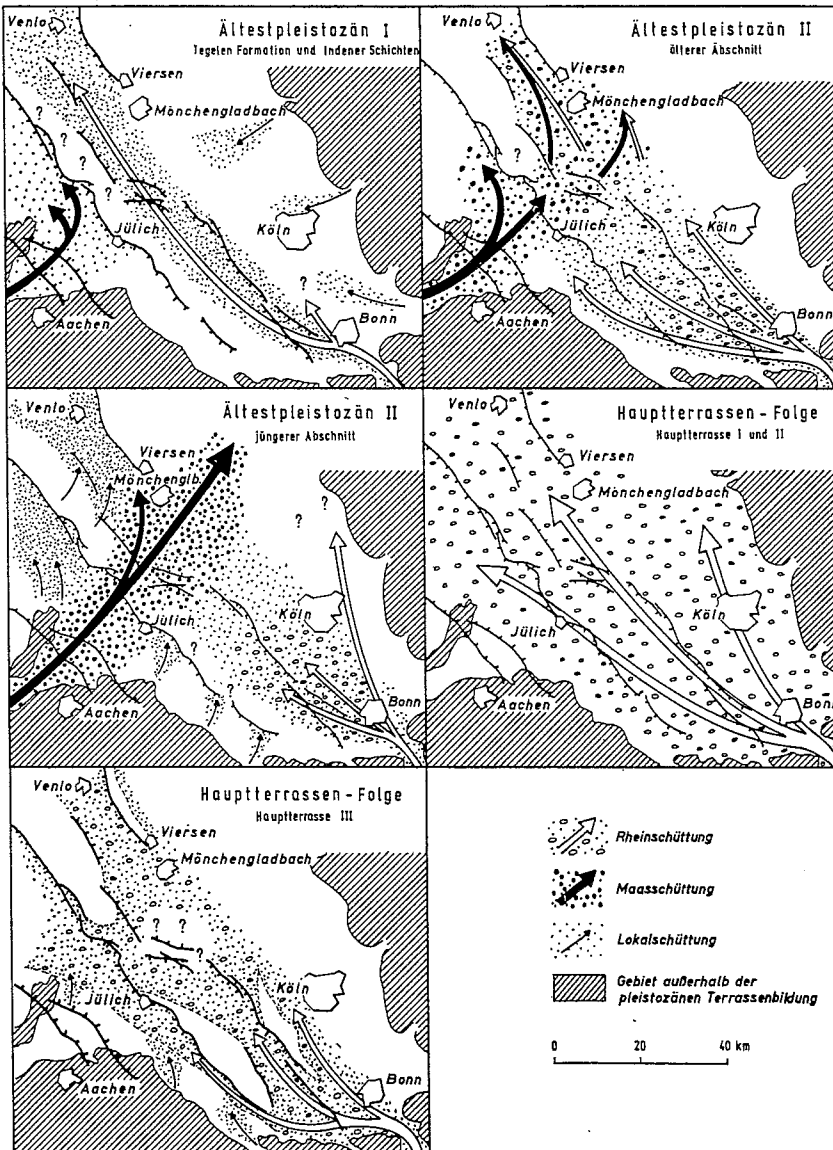


Abb. 8: Sedimentation im Unterpleistozän in der Niederrheinischen Bucht (BOENIGK 1978a: 6)

Im **Unterpleistozän III** verdrängt der Rhein die Maas aus dem zentralen Teil der Niederrheinischen Bucht und lädt eine Folge weit ausgebreiteter, mächtiger Schotter ab, die Hauptterrassenfolge (SCHNÜTGEN 1974: 74). Sie stellt die mächtigste und umfangreichste Schotterablagerung am Niederrhein dar. SCHNÜTGEN unterteilt sie in die 4 petrographisch unterschiedlichen Einzelglieder HT 1-4, deren letzte bereits dem Mittelpleistozän angehört

(Exkursion A13).

Zeigt die unterste der drei gestapelten Schotterserien, die HT 1, daß der Rhein noch nicht alle Teile der Bucht erreicht hat, so breitet er die Schotter der HT 2 am weitesten aus (Abb. 8). Mit der HT 3 kündigt sich der größte Umbruch im Flußgeschehen des Rheins an, nämlich der zur Engtalbildung im Mittelpleistozän. Eine Hebung des Schiefergebirges wie der Niederrheinischen Bucht zwingt den Rhein zur Eintiefung. Die Schotter der HT 3 sind nur noch auf die Tiefschollenbereiche innerhalb des niederrheinischen Grabenbruchfeldes beschränkt. Gleichzeitig zeugen Eiskeile von einer ersten intensiven Kaltzeit (SCHNÜTGEN 1974: 80), so daß die tektonische und klimatische Eintiefungswirkung sich verstärken.

Im Schiefergebirge entwickelt sich im Unter-Pleistozän auf einem Hochtalboden zeitgleich mit dem Stapel am Niederrhein eine Terrassentreppe von 100 - 150 m Höhendifferenz. Die Terrassen sind mit unterschiedlichen Namen belegt (z. B. Plateauterrassen MORDZIOL 1951: 18, Hochtalbodenterrassen KAISER 1961: 239). Die untersten von ihnen sind die Hauptterrassen. Vier von ihnen werden von BIBUS & SEMMEL (1977) am oberen und unteren Mittelrhein dem Unteren Pleistozän zugerechnet (Abb. 9). Unabhängig von schwieriger Parallelisierung mit dem niederrheinischen Terrassenstapel ist die Rhythmik der Terrassentreppe sehr viel unvollständiger als die des Stapels.

Im Absenkungsgebiet des Mittelrheinischen Beckens liegt im Bereich geringmächtig gestapelter Hauptterrassen in Kärlich die Matuyama-Brunhes-Grenze (KOČI et al. 1973: 550). Sie soll gemäß internationalem Vorschlag vorerst als Grenze Unter-/Mittel-Pleistozän dienen. Am Niederrhein liegt sie wenig oberhalb des aufgeführten Terrassenstapels in einem Auen-sedimentkomplex, dem sog. Ville-Interglazial-Komplex (BRUNNACKER et al. 1982: 158). Die Stapelung hielt also im Mittelrheinischen Becken etwas länger an (Exkursion A4).

3.b. Der Rhein im Mittelpleistozän

Das Mittelpleistozän am Mittel- und Niederrhein ist durch einige wichtige Charakteristika gekennzeichnet:

3.b.1. Ausbildung eines Engtals mit starker Tiefenerosion des Flusses

Am eindruckvollsten ist es im Hebungsgebiet des Mittelrheins entwickelt. Dieses Engtal ist die Ursache für die Schönheit und touristische Attraktivität des Mittelrheins.

Am Mittelrhein wird seit MORDZIOL 1908 (Übersicht 1926: 51) eine 150 - 200 m hohe Terrassentreppe von vier Terrassenkörpern ausgegliedert (Abb. 9), nach MORDZIOL von oben nach unten als Mittelterrasse 4-1 bezeichnet. Es existieren jedoch bei anderen Autoren viele andere Bezeichnungen (Exkursion A8-10).

In der Niederrheinischen Bucht setzte sich die Hebungstendenz, die mit der HT 3 begann, fort. Dabei versperrte die sich hebende Ville im Süden dem Rhein den Weg zur Erftscholle, so daß sich der Rhein in die Kölner Scholle im Osten der Niederrheinischen Bucht eingrub und dort sein heutiges Erosionstal schuf. Hier ist eine Treppe von 5 Terrassen bekannt, die oben mit der Hauptterrasse 4 (SCHNÜTGEN 1974: 80) beginnt und nach unten mit vier Mittelterrassen weiterführt: MT I - IV nach BRUNNACKER et al. 1978 (im folgenden Text als MT 1-4 bezeichnet) (Abb. 10) (Exkursion A16, G).

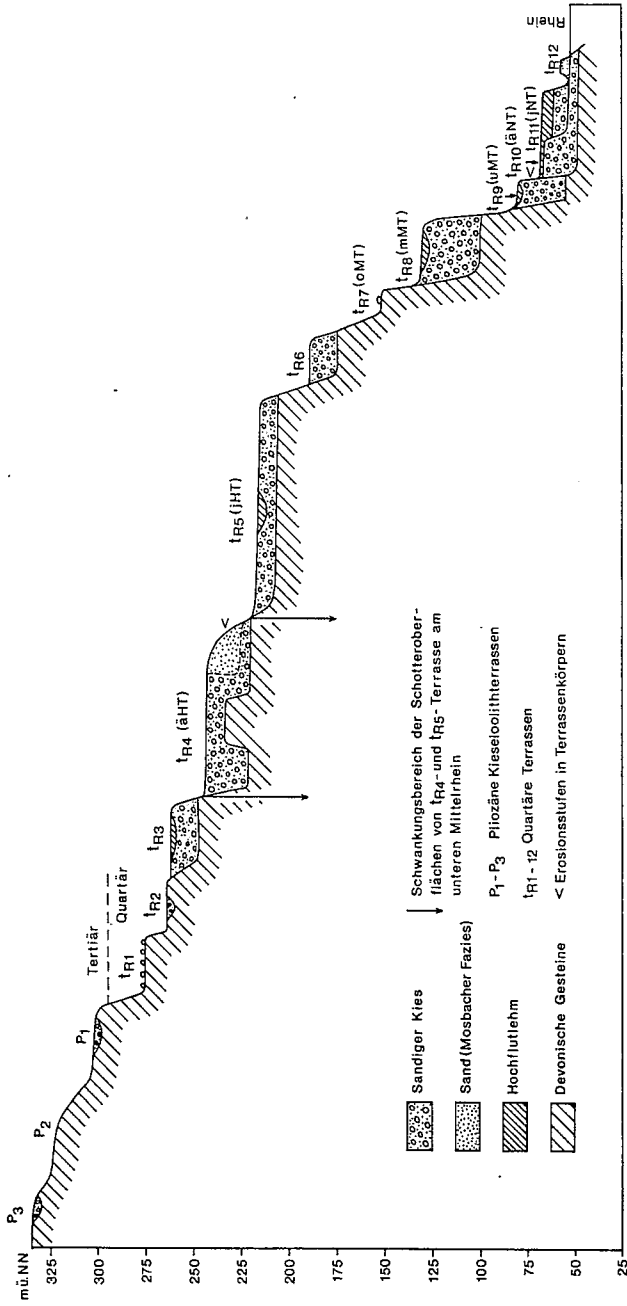


Abb. 9: Terrassen-Schema am Unteren Mittelrhein (BIBUS 1980: 249).

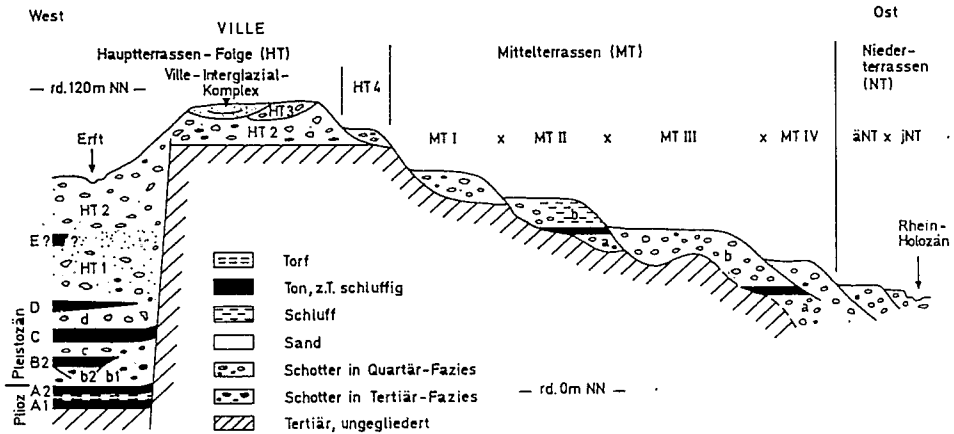


Abb. 10: Terrassen-Schema in der Kölner Bucht (BRUNNACKER 1982: 246)

Neben der Hebung ist das Mittelpleistozän aber auch die Zeit des krasssten Klimawechsels von jetzt extremen Kaltzeiten zu Warmzeiten als im Unterpleistozän, so daß hier die klimatisch bedingte Eintiefung eine erhebliche Rolle spielt.

Dabei lieferte der Niederrhein Anhaltspunkte, daß eine späte glaziale Haupterosionsphase jeweils einen Terrassenkörper folgenden Aufbaus schafft (SCHIRMER 1969, 1974: 270, BRUNNACKER et al. 1978: 321):

Terrassenoberfläche mit Hochflutsedimenten und Boden
glazialer Hangendschotter
feinklastisch-organisches Interglazial-Sediment
spätglazialer Liegendschotter.

An einem solchen Stapel ist also ein ausgehendes Glazial, ein Interglazial und der Hauptteil des folgenden Glazials beteiligt.

3.b.2. Belebung des Vulkanismus der Eifel

Um die Wende Matuyama/Brunhes-Grenze lebt der Eifelvulkanismus wieder auf. Seither entsteht im Mittelrheinischen Becken und der nördlich angrenzenden Eifel eine durch lebhaften vulkanische Formen beherrschte Landschaft. Fünf Eruptionsphasen scheiden v. d. BOGAARD & SCHMINCKE (dieser Band, Exkursion C) über das Mittelpleistozän verteilt aus. Entsprechend finden sich deren Aschen mit den Flußterrassen und Lössen verknüpft (Exkursion A3, 4, 5, 10, C). Sie bieten die Chance zu tephrostratigraphischer Verknüpfung und zur Lieferung von Altersdaten. Mehr berichtet darüber die Einführung zur Exkursion C.

Die Vulkanlandschaft liefert jüngst eine reiche prähistorische Ausbeute (BOSINSKI et al. 1986; BOSINSKI 1986). Erloschene Vulkankrater und ihr Umland lockten im ganzen Mittel- und Jungpleistozän zu menschlicher Besiedlung. Die Schutzposition der Kratermulden und die

konservierende Wirkung der Aschen verhalf in erster Linie zu deren Überlieferung (Exkursion A3, 4, 5, B).

Vulkanische Schwerminerale treten in den Mittelheinterrassen nach BIBUS (1980: 250) erstmals im Unterpleistozän II auf (in seiner tR3, Abb. 9), verstärkt dann in den Mittelterrassen. Am Niederrhein werden erste vulkanische Schwerminerale in der HT 3 (BOENIGK 1978 b: 175) vor ihrem Haupteinsatz in den Mittelterrassen (BRUNNACKER et al. 1978: 314) gefunden. Als Leithorizont kann in beiden Gebieten bei Beginn des Haupteinsatzes vulkanischer Schwerminerale eine Vormacht brauner Hornblende gelten, die dann bald durch Pyroxenvormacht abgelöst wird (VINKEN 1959: 165, RAZI RAD 1976: 118, BRUNNACKER et al. 1978: 294) (Exkursion A4, A10).

3.b.3. Gliederung der Mittelterrassen durch Lößdeckschichten

Die kräftigen Kaltzeiten des Mittelpleistozäns verursachen auch mächtige Lößeinwehung, die vor allem aus den Tälern abgeleitet wird (RAZI RAD 1976). Im Schutze der Mittelterrassentreppe blieb der Löß relativ gut erhalten und ermöglicht in Gemeinschaft mit Paläoböden eine Bestimmung des Mindestalters der unterlagernden Terrasse. Durch solche Mindestalter wurden bisher die Mittelterrassen 2-4 am Niederrhein der 4. bis 2. Kaltzeit vor heute zugeordnet (BRUNNACKER 1967, SCHIRMER 1974 a, b, BRUNNACKER et al. 1978).

Doch zeigt sich, daß sich im Laufe der Abbaugeschichte eines Aufschlusses die Anzahl der Deckschichten oft vermehrt und die Terrassen damit älter werden müssen (vgl. z. B. Exkursion A10 Ariendorf); aber das ist im Begriff "Mindestalter" enthalten (weitere Ausführungen siehe unter Punkt 4).

3.b.4. Mittelterrassen und Inlandeis

Das nordische Inlandeis stieß wahrscheinlich zweimal vielleicht auch dreimal an den Niederrhein vor und hinterließ glaziäre Ablagerungen inmitten der Rheinterrassen. Leider sind weder die betroffenen Terrassen noch die Eisvorstöße altersmäßig einwandfrei abgesichert. Auch die Verknüpfung beider ist umstritten. Ausführliche Angaben dazu finden sich in der Einführung zur Exkursion A16, weitere Einzelheiten vermitteln die Exkursionen D und I.

* * *

Das Mittelpleistozän ist - wie schon das Unterpleistozän - durch seinen Reichtum an interglazialen Ablagerungen ausgezeichnet. Es gibt im Unter- und Mittelpleistozän des Rheinlands drei wesentliche Typen interglazialer Lager:

1. Interglaziale innerhalb der tektonisch bedingten Sedimentstapel: Dieser Typ tritt in der Grabenzone des Niederrheins und seiner niederländischen Fortsetzung auf. Er ist im Rheinland auf das Unterpleistozän beschränkt (z. B. Fortuna-Warmzeit, Frechen-Warmzeiten, Abb. 3) und tritt in den Niederlanden mit zunehmender Stapelung der Quartärablagerungen in immer jüngeren Pleistozänabschnitten auf. Diesem Typ vor allem ist die so vollständige Quartärgliederung des Niederrheingebietes zu verdanken (Exkursion A12, 15).

2. Interglaziale innerhalb klimatisch bedingter Sedimentstapel: Dieser Typ tritt im Engtalterrassenbereich des Mittelpleistozäns am Niederrhein auf. Die Interglaziale liegen im tieferen Teil eines Terrassenkörpers. Der nähere Bau ist unter Punkt 3.b.1. erläutert. Solche Interglaziale wurden z. B. von der MT 2 (Frimmersdorfer Interglazial) und von der MT 3 (Krefelder Interglazial) bekannt; vielleicht gehören auch die Kempener Schichten unter der MT 4 dazu (Exkursion A 16 und D).
3. Interglaziale durch Tephra-Ablagerungen der Eifelvulkane konserviert: Dieser Typ ist an die Eifel-Mittelrhein-Region gebunden. Dazu gehören z. B. das Kärlicher Interglazial und Ariendorfer Interglazial, die nach den $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Laser-Datierungen durch v.d. BOGAARD & SCHMINCKE (Exkursion C) etwa gleichalt, um 400 000 a vor heute, sind und vermutlich dem späten Cromer-Komplex zugestellt werden können (Exkursion A4, A10, C).

Trotz dieser reichen Ereignis- und Datenfülle im Mittelpleistozän ist die Gliederung der Flußterrassen noch lückenhaft und eine Verknüpfung der Terrassen des Mittel- und Niederrheins noch nicht einwandfrei durchführbar. Das betrifft selbst die tiefste Mittelterrasse (Exkursion A8, A9, A16). KLOSTERMANN (1985) gliedert sie im Niederrheinischen Tiefland in 4 Einzelterrassen auf (u)MT 1-4), in Tab. 1 in Exkursion D bereits in 5, welche zeitlich der MT 3 und MT 4 BRUNNACKERs entsprechen (Gegenüberstellung in Exkursion A16, Tab. 1). Daher habe ich am Mittelrhein (Exkursion A8, A9) vorerst die dort aufgestellte Bezeichnung "Untere Mittelterrasse" für die jüngste vorhandene mittelpleistozäne Terrasse beibehalten.

3.c. Der Rhein im Oberpleistozän

Hatte der Rhein im Unterpleistozän im Schiefergebirge die noch sanft eingemuldete Hochtalregion geschaffen und am Niederrhein einen mächtigen Sand-Schotterkörper zu weitem ebenen Plateau aufgeschüttet, war das Mittelpleistozän dann die Zeit der Austiefung des engeren Tals, die Zeit der Beschränkung auf schmalere Abfluß bei kräftigerem Relief, so ist das Oberpleistozän die Zeit der Formung des Talgrundes.

Über den Rhein zur **Eem**-Warmzeit wissen wir wenig. Gelegentlich finden sich im Niederrheinischen Tiefland unter Niederterrassensedimenten tonig-torfige Altwasser-Schichten, die pollenstratigraphisch dem Eem zugeordnet werden. Dazu zählen an der Niers die Schichten von Weeze (v. d. BRELIE & REIN 1956: 425) (vgl. Tab. 1 in Exkursion D) und am Rhein ein Interglazial bei Kleve sowie zahlreiche Interglazialvorkommen nördlich davon im Ijssel-Tal (v. d. MEENE & ZAGWIJN 1978: 353). LANSER (1983: 95) rechnet rheinaufwärts die Moerser Schichten II westlich von Duisburg noch dazu. Der Rhein nahm nach dem Rückzug des Saaleeises allerdings, angezogen durch ein hinterlassenes Gletscherzungenbecken im N-S-Verlauf der heutigen Ijssel, seinen Weg durch dieses Tal zum Ijsselmeer. Erst im Verlauf der Mittel- und Oberweichselzeit schwenkte er in die heutige Abflußrichtung ein (v. d. MEENE & ZAGWIJN 1978).

In der **Würm**- bzw. **Weichsel**-Eiszeit hinterließ der Rhein drei Niederterrassen (NT 1-3), deren Sedimente vor allem dem Oberwürm (Jungwürm + Spätwürm) angehören. Da diese Dreigliederung der Niederterrassen hier erstmals vorgestellt wird, werden im Kap. 5.

erläuternde Angaben angefügt. Die hochwürmzeitliche NT 1 hat der Rhein in der Nachfolgezeit weitgehend ausgeräumt, vor allem im Engtalbereich, so daß der Haupt-Terrassenkörper des Rheins, die NT 2, durch die Ablagerung der Schönbrunn-Phase (im Sinne SCHIRMER 1983) verkörpert wird; das ist der Zeitraum zwischen dem Ende des Hochwürms und dem Beginn des Spätglazials. In der Mittleren Dryas (Dryas 2) war die NT 2 bereits wieder zerschnitten (Exkursion A7, A8, G). Die NT 3 gehört der frühen Jüngerer Dryas (Dryas 3) an (Exkursion A7, D, G, I).

Die vulkanische Aktivität des Mittelpleistozäns setzt sich im Oberpleistozän fort. Einige Aschen geben gute tephrostratigraphische Leithorizonte, vor allem im Würmlöß, ab (zuletzt JUVIGNÉ & WINTLE 1988). Die berühmteste der Aschen ist die Laacher See-Tephra (vgl. Beitrag v. d. BOGAARD & SCHMINCKE, Exkursion C), die vor rd. 11 000 Jahren im Mittelrheinischen Becken und Umkreis die Lebewelt der Allerödzeit unter mehrere Meter hoher Decke konserviert hat (vgl. Beitrag IKINGER, Exkursion A6). Für die Terrassenstratigraphie aber stellt sie mit ihrem haufyführenden Bimsstein ein hervorragendes Leitgestein der NT 3 am Unteren Mittelrhein und Niederrhein dar (Exkursion A7, D, G, I).

Eines der berühmtesten Zeugnisse des rheinischen Oberpleistozäns ist der Neandertaler, *Homo sapiens neanderthalensis*. Man kennt ihn wohl schon seit der vorletzten Kaltzeit, doch die rheinischen Hauptfunde sind vor allem oberpleistozänen Alters. Seit dem berühmten Fund von 1856 in einer Kalkhöhle im namensgebenden Neandertal östlich von Düsseldorf (Exkursion E) haben Krater der Vulkaneifel, die um die Zeit des vorletzten Interglazials entstanden sind, eindrucksvolle Siedlungsplätze des Neandertalers aus oberpleistozäner Verfüllung freigegeben (BOSINSKI et al. 1986) (Exkursion A3).

3.d. Der Rhein im Holozän

In der ausgehenden Jüngerer Dryas begann sich der Rhein einzuschneiden (THOSTE 1974: 108) und ließ die eben entstandene NT 3-Aufschüttung als Terrasse zurück. Auch im Holozän ruhte der mäandrierende Rhein keineswegs. An vielen Flüssen sind synchrone Zeiten verstärkter Hochwasserperioden bekannt geworden, die den Fluß zu kräftigerem Mäandrieren und zur Sedimentumlagerung im Talgrund stimulieren. SCHALICH (1968) hat an der Rur, BRUNNACKER (1978) und KLOSTERMANN (1989: 92) haben am Niederrhein einige solcher Phasen herausgearbeitet (vgl. auch SCHIRMER, Exkursion G 7.2). Danach sieht es so aus, als füge sich der Niederrhein in einigen Zeitabschnitten in das Bild der Umlagerungsrhythmen, das vom Main (SCHIRMER zuletzt 1988), der Donau und Isar (SCHELLMANN 1988, FELDMANN 1990) und vom Oberrhein (STRIEDTER 1988) entworfen wurde (Exkursion D, G).

BRUNNACKER (1978: 399) deutet die Sedimente am Niederrhein in Anklang an die Vorstellungen von TROLL (1954) durch Schwemmfächerdynamik. Ich sehe sie als kontinuierliche Entwicklung entlang aller Flußläufe (zuerst SCHIRMER 1973).

Das Rheinland ist eines der Gebiete, in denen sich der Auftritt des Menschen auf die Bühne "Natur" besonders gut abzeichnet. Wenn auch die ersten bisher bekannten Spuren des Menschen im Rheinland schon im Unterpleistozän erfolgten, so wird doch erst das Holozän wesentlich durch ihn gestaltet. Vier Etappen läßt dieser Auftritt erkennen:

Im ersten Akt ist der Mensch bloßer Bestandteil der Natur. Gelegentliche Funde seiner Werkzeuge, Arbeitsspuren oder seiner Überreste selbst bezeugen seine Anwesenheit. Die ältesten Spuren im Rheinland stammen aus Kärlich von der ausgehenden Matuyama-Epoche, vor ca. 900 000 Jahren (BOSINSKI et al. 1986) (Exkursion A4).

Im zweiten Akt färbt der Mensch zuweilen die Naturvorgänge deutlich durch seine Aktionen. Dies geschieht mit Beginn seiner Seßhaftigkeit und Rodungstätigkeit ab dem Neolithikum vor etwas über 7 000 Jahren (SCHWELLNUS 1989). Ein Ergebnis ist die Veränderung der Vegetationszusammensetzung (KALIS & MEURERS-BALKE 1988) und die verstärkte Einspülung minerogener Sedimente in die Täler auf Grund erhöhten Bodenabtrags im Hinterland (Exkursion G4, H).

Im dritten Akt beeinträchtigt der Mensch bereits da und dort die Naturabläufe. Dies beginnt im späten Subboreal in der späten Bronzezeit und an der Wende zur Eisenzeit, um ca. 2 500 Jahren vor heute. Der Bodenabtrag nimmt so immens zu, daß das Talrelief stellenweise völlig verändert wird. Die Hochwasserwirkung wird verstärkt. Wasserläufe ändern in erhöhtem Maße ihren Lauf (SCHALICH 1981, SCHIRMER in LÜNING et al. 1971: 91) (Exkursion D5, G4, G7, H).

Im vierten und letzten Akt beherrscht der Mensch in hohem Grad viele der Naturabläufe. Dieser Zeitpunkt tritt am Rhein im Laufe des 19. Jahrhunderts ein. Dämme verhindern Hochwasserablagerungen des Rheins in der Aue. Flußläufe werden festgelegt oder umgelegt (Exkursion G7). Der Mensch kennt allerdings die Folgen seines Tuns weitgehend nicht. Das ist die Ursache unserer Umweltprobleme.

4. Zur Löß-Gliederung am Mittel- und Niederrhein

Seit STEINMANN (1907) erstmals den Löß im Rheinland in seinen Älteren und Jüngeren Löß aufgliedert hat, begann eine Welle weiterer Lößuntergliederung, die sich jeweils an der Vermehrung der Kaltzeiten im Quartär orientierte (Hierzu nur einige Forschungsstadien: MÜCKENHAUSEN 1954, PAAS 1961, BRUNNACKER 1967, 1982). Das vielgliedrigste und zugleich best untersuchte Lößprofil des Rheinlands ist dasjenige von Kärlich, dessen Löss bis fast an die Brunhes/Matuyama-Grenze hinabreichen (Exkursion A 4). Trotz reicher Untersuchungen - oder gerade wegen der Vielseitigkeit der Forschungsansätze - ist die stratigraphische Zuordnung der Lößeinheiten in Kärlich, wie auch in den anderen großen Lößprofilen des Rheinlands in heftiger Bewegung. Die Abzählmethode der Löß-Interglazialboden-Stratigraphie schien sich zu bewähren, zumal sie durch Tephralagen, in Kärlich zusätzlich durch die Matuyama/Brunhes-Grenze, gestützt schien. Doch zeigten schon das Lößprofil Erkelenz (SCHIRMER & STREIT 1967) (Exkursion A 14) und das 4 km lange Profil Frimmersdorf-West (SCHIRMER 1974 b), daß in Lößprofilen auf alten Unterlagern der Eemboden nur selten erhalten ist, aber auch die nächst älteren Böden weithin abgetragen sind. Der Oberwürmlöß liegt dann diskordant über verschiedenen älteren Lößeinheiten. Hinzu kommt, daß der Datierung durch die Abzählmethode interglaziale Doppelböden entgegenstehen, deren Natur nur bei ausreichend großen Aufschlußdimensionen erkennbar ist (Näheres in Exkursion A 14).

Datierungsmethoden, wie die $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Laser-Datierung, fordern für die Profile Kärlich (v. d.

BOGAARD et al. 1989) und Ariendorf (v. d. BOGAARD & SCHMINCKE, Exkursion C), daß auch hier ältere Lößeinheiten, als bisher angenommen wurde, den Oberwürmlöß unterlagern. Die Datierungsergebnisse stehen allerdings noch im Gegensatz zu den Ergebnissen der Thermolumineszenz(TL)-Datierung in denselben Profilen (ZÖLLER, STREMMER & WAGNER 1988). Allerdings wird der Aussagewert der TL-Alter in Abhängigkeit von der Sedimentfazies von FRECHEN (mdl. Mitteilung) sehr kritisch bewertet. Die Gegensätze in der Einstufung sind in den Lößprofilen Kärlich (Exkursion A 4), Ariendorf (Exkursion A 10) und Erkelenz (Exkursion A 14) dargestellt. In Ariendorf sind von E. TURNER, die die Einzelbeiträge zu diesem Aufschluß koordiniert hat, die krassen Widersprüche der Einstufung bewußt kommentarlos nebeneinandergestellt.

Insgesamt zeichnet sich für die Lößprofile auf älteren Unterlagern im Rheinland, wie z. B. Kärlich, Ariendorf, Frimmersdorf-West und Erkelenz, die Gesetzmäßigkeit ab, daß ihre jüngeren Anteile lückenhaft sind.

Die beste Konservierung der jüngeren Lösses findet man auf jungen Unterlagern, und zwar zum einen in Leepositionen der Täler. So erschließt das Profil Remagen-Schwalbenberg am Westhang des Rheintals und auf der tiefsten Mittelterrasse (Untere Mittelterrasse) das weithin best aufgegliederte Mittelwürm mit sieben fossilen braunen Interstadial-Böden (Exkursion A9). Zum anderen sind es die Hohlformen von Vulkankratern, die geradezu Fallen für Lößablagerungen und zugehörige Bodenbildungen darstellen. Das, was andernorts am ersten verspült wird, wird in diesen Fallen in idealer Weise konserviert. Der fortschreitende Abbau der Eifelvulkane erschließt derzeit eine Reihe solcher vulkanischer Lößfallen. Im Tönchesberg ist das Unterwürm so breit gedehnt erschlossen, daß BECKER den Blake-Event darin entdecken konnte (Exkursion A3).

Für eine ähnlich gute Konservierung mittelpleistozäner Lösses in Schutzposition mag ein Berg-rutsch mit aufgestautem Nackensee in Kärlich gesorgt haben. Dort ist ein vertikal gedehntes Interglazial (Kärlicher Interglazial) und nachfolgendes Frühglazial erhalten, das eventuell dem späten Cromer-Komplex zugeordnet werden kann (Exkursion A4). Zugleich wurden in dieser Hohlform Reste altsteinzeitlicher Kulturen konserviert.

5. Zur Niederterrassen-Gliederung am Mittel- und Niederrhein

KAISER (1903: 211) hat den Begriff Niederterrasse von Süddeutschland erstmals auf den Rhein übertragen. AHRENS (1927: 56) entdeckte eine Zweiteilung der Niederterrasse anhand der Laacher See-Tephra, die zeitlich zwischen der Bildung beider eruptiert wurde. Sie überlagert die ältere und ist in die jüngere eingearbeitet. STICKEL (1936: 354, 356) manifestiert für die beiden Terrassen die schon von AHRENS (1930) verwendeten Begriffe "ältere" und "jüngere" Niederterrasse.

Durch das Alleröd-Alter der Laacher See-Tephra konnte das Alter der Jüngeren Niederterrasse auf die Jüngere Dryas-Zeit eingengt werden. Die Ältere Niederterrasse galt als die eigentliche würmzeitliche.

Nachdem ich am Obermain drei Würmterrassen nachweisen konnte, Reundorfer, Schönbrunner und Ebinger Terrasse (SCHIRMER 1983: 17), ließ sich auch am Rhein eine - noch deutlichere - Dreigliederung auffinden, zuerst im Düsseldorfer Raum auf beiden Rhein-seiten (vgl. linksrheinisch Exkursion G), jüngst auch im Neuwieder Becken (Exkursion A8).

Dabei beherbergt in diesen Fällen die bisherige Ältere Niederterrasse - nach der Ansprache der meisten Autoren - die Äquivalente der Reundorfer und Schönbrunner Terrasse des Obermains. Doch geschieht die Zuordnung der Niederterrassenflächen des Rheins zur Älteren oder Jüngeren Niederterrasse nicht bei allen Autoren in gleicher Weise. Daher kann nicht generell die Ältere Niederterrasse zur Aufteilung herangezogen werden.

In Anlehnung an die Bezeichnung der niederrheinischen Hauptterrassenglieder als HT 1-4 durch SCHNÜTGEN (1973), und der Mittelterrassen (MT 1-4) durch BRUNNACKER (1974) benutzte ich bisher die Arbeitsbezeichnungen NT 1-3 für die Dreigliederung der Niederterrassen und behalte sie hier bei.

Am Niederrhein und in der Niederrheinischen Bucht erhebt sich die Terrassenfläche der NT 1 4-6 m über die Fläche der NT 2, diese wiederum 1,5-2 m über die Fläche der NT 3. Die NT 1 ist im Rheintal als schmale Leiste am Rand der Talgrundebene erhalten. Die NT 2 nimmt die weitesten Flächen ein, die NT 3 schmalere. An der unteren Erft dagegen ist die NT 1 die beherrschende Niederterrasse im Talgrund (vgl. Exkursion G).

Altersangaben für die NT 1 des Rheins fehlen bisher. Sie ist jünger als die Mittelterrasse 4 bzw. Untere Mittelterrasse, ist lößfrei und trägt nur einen Boden, den der heutigen Oberfläche, bei weitaus geringerer Verwitterung als die der UMT (vgl. Exkursion A8). Sie erweist sich damit als würmzeitlich. Die NT 2 war präböllingzeitlich abgeschlossen (vgl. Exkursion A7 und G4). Die NT 3 ist postalleröd und kaltzeitlich, also jüngerdryaszeitlich. THOSTE (1974: 54) trennte in der Niederrheinischen Bucht von der Jüngeren Niederterrasse (NT 3) noch eine "Unterstufe der Jüngeren Niederterrasse", eine Erosionsstufe ab, die an Hand von Frostbodenstrukturen noch der späten Jüngeren Dryas zugestellt werden muß. Ob ihr ein eigener Terrassencharakter zukommt, ist bisher nicht erwiesen.

Am Obermain konnten die drei Niederterrassen als hochwürmzeitlich, nachhochwürmzeitlich präalleröd und jüngerdryaszeitlich datiert werden (SCHIRMER 1983: 20, 21). SCHELLMANN (1988) fand an der Donau und unteren Isar die gleichalte Würmdreigliederung, ebenso FELDMANN (1990) und FELDMANN et al. (1990) in der Münchner Schotterebene. FELDMANN kann dort die NT 1 mit dem Würm-Maximalstand des Ammersee-Gletschers verbinden.

Demnach dürfte die Dreigliederung der Niederterrassen als allgemeines Phänomen im Periglazialraum gelten und auch die NT 1 des Rheinlands das Hochwürm vertreten. Die NT 2 könnte dann den Zeitraum von etwa 18 000 bis ca. 14 000 BP ausfüllen, falls Bölling 13 500 BP einsetzt (vgl. JUVIGNÉ & WINTLE 1988: 102). Die NT 3 wurde im früheren Abschnitt der Jüngeren Dryaszeit abgelagert, denn am Niederrhein folgt noch die erwähnte spätjüngerdryaszeitliche Unterstufe, und am Obermain folgen ihr jüngerdryaszeitliche Aurinnenfüllungen (U. SCHIRMER & W. SCHIRMER 1988).

Literatur:

AHORNER, L. (1962): Untersuchungen zur quartären Bruchtektonik der Niederrheinischen Bucht. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, 13: 24-105; Öhringen.

- AHRENS, W. (1927): Das Alter des großen mittelrheinischen Bimssteinausbruchs und sein Verhältnis zu den jüngsten Rheinterrassen. - Geol. Rdsch., 18: 45-59; Berlin.
- (1930): Die Trennung der "Niederterrasse" am Mittel- und Niederrhein in einen diluvialen und einen alluvialen Teil auf Grund der Geröllführung. - Z. deutsch. geol. Ges., 82: 129-141; Berlin.
- ANDRES, W., BIBUS, E., PREUSS, J. & SCHNÜTGEN, A. (1989): Middle Rhine valley and Lower Rhine Basin. - Geoöko-Forum, 1: 123-142; Bensheim.
- BIBUS, E. (1980): Zur Relief-, Boden- und Sedimententwicklung am unteren Mittelrhein. - Frankfurter geow. Arb., D 1: 295 S., Abb. 50 als Beil.; Frankfurt a. M.
- BIBUS, E. & SEMMEL, A. (1977): Über die Auswirkung quartärer Tektonik auf die altpleistozänen Mittelrhein-Terrassen. - Catena, 4: 385-408; Gießen.
- BOENIGK, W. (1978 a): Die flußgeschichtliche Entwicklung der Niederrheinischen Bucht im Jungtertiär und Altquartär. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 28: 1-9; Öhringen.
- (1978 b): Gliederung der altquartären Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 135-212, 2 Taf.; Krefeld.
- (1981): Die Gliederung der tertiären Braunkohlendeckschichten in der Ville (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 29: 193-263, 2 Beil.; Krefeld.
- (1982): Der Einfluß des Rheingraben-Systems auf die Flußgeschichte des Rheins. - Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 42: 167-175; Berlin, Stuttgart.
- BOENIGK, W., BRELIE, G. v. d., BRUNNACKER, K., KOČI, A., SCHLICKUM, W. R. & STRAUCH, F. (1974): Zur Plio-Pleistozän-Grenze im Bereich der Ville (Niederrheinische Bucht). - Newsl. Stratigr., 3, 4: 219-241, 7 figs.; Leiden.
- BOGAARD, C. v. d., BOGAARD, P. v. d. & SCHMINCKE, H.-U. (1989): Quartärgeologisch-tephrostratigraphische Neuaufnahme und Interpretation des Pleistozänprofils Kärlich. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 39: 62-86; Hannover.
- BOSINSKI, G. (1986): Archäologie des Eiszeitalters. Vulkanismus und Lavaindustrie am Mittelrhein. - VIII + 39 S.; Mainz (Röm.-Germ. Zentralmuseum).
- BOSINSKI, G., KRÖGER, K., SCHÄFER, J. & TURNER, E. (1986): Altsteinzeitliche Siedlungsplätze auf den Osteifelvulkanen. - Jb. d. Röm.-Germ. Zentralmuseum, 33: 97-130, Taf. 25-33; Mainz.
- BRELIE, G. v. d. & REIN, U. (1956): Pollenanalytische Untersuchungen zur Gliederung des Pleistozäns am linken Niederrhein. - Geol. Mijnbouw (N.S.), 18: 423-425, 1 Falttaf.; 's-Gravenhage.
- BREMER, H. & PFEFFER, K.-H. (Hrsg.) (1978): Zur Landschaftsentwicklung der Eifel. Beiträge zur Geologie, Bodenkunde und Geomorphologie. - Kölner geogr. Arb., 36: 225 S., 6 Beil.; Köln.
- BRUNNACKER, K. (1967): Grundzüge einer Löß- und Bodenstratigraphie am Niederrhein. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 18: 142-151; Öhringen/Württ.
- (1974): Results of Quaternary stratigraphy on the middle and lower courses of the Rhine. - IGCP project 73/1/24: Quaternary glaciations in the northern hemisphere, report no. 1: 16-33; Prague (INQUA).
- (1978): Der Niederrhein im Holozän. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 399-440, 1 Taf.; Krefeld.
- (Koord.) (1980): Tagung der Deutschen Quartärvereinigung, Aachen 1980, Exkursion 1: Mittel- und Niederrhein. - 110 S.; Köln.
- (1982): Löß- und Paläoböden vom Neuwieder Becken bis in die Niederrheinische Bucht. - Geol. Jb., F 14: 240-250; Hannover.
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., DOLEZALEK, B., KEMPF, E.K., KOČI, A.,

- MENTZEN, H., RAZI RAD, M. & WINTER, K.-P. (1978): Die Mittelterrassen am Niederrhein zwischen Köln und Mönchengladbach. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 277-324, 1 Taf. als Beil.; Krefeld.
- BRUNNACKER, K., LÖSCHER, M., TILLMANN, W. & URBAN, B. (1982): Correlation of the Quaternary terrace sequence in the Lower Rhine valley and northern Alpine foothills of Central Europe. - Quaternary Research, 18: 152-173; Seattle.
- FELDMANN, L. (1990): Jungquartäre Gletscher- und Flußgeschichte im Bereich der Münchener Schotterebene. - Diss. Univ. Düsseldorf: 356 S., 2 Beil.; Düsseldorf.
- FELDMANN, L., GEISSERT, F., SCHIRMER, U. & SCHIRMER, W. (1990): Die jüngste Niederterrasse der Isar nördlich München. - N. Jb. Geol. u. Paläont., Mh. (im Druck).
- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, 28: Das Rheinische Schiefergebirge und die Niederrheinische Bucht im Jungtertiär und Quartär. - 538 S., 8 Taf. als Beil.; Krefeld 1978.
- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, 29: Geologie und Lagerstätten- erkundung im Rheinischen Braunkohlenrevier. - 575 S., 9 Taf. als Beil.; Krefeld 1981.
- FUCHS, K., GEHLEN, K. v., MÄLZER, H., MURAWSKI, H. & SEMMEL, A. (Hrsg.) (1983): Plateau Uplift. The Rhenish Shield - a case history. - 411 S.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- HAGER, H. (1981): Das Tertiär des Rheinischen Braunkohlenreviers, Ergebnisse und Probleme. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 29: 529-563; Krefeld.
- HESEMANN, J. (1975): Geologie Nordrhein-Westfalens. - Bochumer Geogr. Arb., Sonderreihe 2: 416 S.; Paderborn (Schöningh).
- ILLIES, J. H. & BAUMANN, H. (1982): Crustal dynamics and morphodynamics of the Western European Rift System. - Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 42: 135-165; Berlin, Stuttgart.
- JUVIGNÉ, E. H. & WINTLE, A. G. (1988): A new chronostratigraphy of the late Weichselian loess units in Middle Europe based on thermoluminescence dating. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 38: 94-105; Hannover.
- KAISER, E. (1903): Die Ausbildung des Rhein-Tales zwischen Neuwieder Becken und Bonn-Cölner Bucht. - Verh. 14. dt. Geographentag Cöln: 206-215; Berlin.
- KAISER, K. (1961): Gliederung und Formenschatz des Pliozäns und Quartärs am Mittel- und Niederrhein, sowie in den angrenzenden Niederlanden unter besonderer Berücksichtigung der Rheinterrassen. - In: KAYSER, K. & KRAUS, Th. (Hrsg.): Köln und die Rheinlande. Festschrift zum 33. Deutschen Geographentag vom 22.-26. Mai 1961 in Köln: 236-278, Abb. 5, Tab. 3, 6, 7 als Falttaf., Karte 1-3 als Beil.; Wiesbaden (Steiner).
- KALIS, A. J. & MEURERS-BALKE, J. (1988): Wirkungen neolithischer Wirtschaftsweisen in Pollendiagrammen. - Archäologische Informationen, 11 (1): 39-53; Bonn.
- KOČI, A., SCHIRMER, W. & BRUNNACKER, K. (1973): Paläomagnetische Daten aus dem mittleren Pleistozän des Rhein-Main-Raumes. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1973 (9): 545-554; Stuttgart.
- KLOSTERMANN, J. (1985): Versuch einer Neugliederung des späten Elster- und des Saale-Glazials der Niederrheinischen Bucht. - Geol. Jb., A 83: 3-46; Hannover.
- (1989), mit Beiträgen v. J. NÖTTING, W. PAAS & H.-W. REHAGEN: Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25 000, Erläuterungen zu Blatt 4304 Xanten. - 154 S., 3 Taf.; Krefeld.
- KURTZ, E. (1938): Herkunft und Alter der Höhenkiese der Eifel. - Z. deutsch. geol. Ges., 90: 133-144; Berlin.
- LANSER, K.-P. (1983): Die Krefelder Terrasse und ihr Liegendes im Bereich Krefeld. - Inaug.-Diss. Univ. Köln, 241 S.; Köln.

- LIPPOLT, H. J. (1983): Distribution of volcanic activity in space and time. - In: FUCHS, K., GEHLEN, K. v., MÄLZER, H., MURAWSKI, H. & SEMMEL, A. (Hrsg.): Plateau Uplift. The Rhenish Shield - a case history: 112-120; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- LÖHNERTZ, W. (1978): Zur Altersstellung der tiefliegenden fluviatilen Tertiärablagerungen der SE-Eifel (Rheinisches Schiefergebirge). - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **156** (2): 179-206; Stuttgart.
- LÜNING, J., SCHIRMER, W. & JOACHIM, H.-E. (1971): Eine Stratigraphie mit Funden der Bischheimer Gruppe, der Michelsberger Kultur und der Urnenfelderkultur in Kärlich, Kr. Koblenz. - Praehist. Z., **46** (1): 37-101, Beil. 1-4; Berlin, New York.
- MEENE, E. v. d. & ZAGWIJN, W. H. (1978): Die Rheinläufe im deutsch-niederländischen Grenzgebiet seit der Saale-Kaltzeit. Überblick neuer geologischer und pollenanalytischer Untersuchungen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **28**: 345-359; Krefeld.
- MEYER, W., ALBERS, H. J., BERNERS, H. P., GEHLEN, K. v., GLATTHAAR, D., LÖHNERTZ, W., PFEFFER, K.H., SCHNÜTGEN, A., WIENECKE, K. & ZAKOSEK, H. (1983): Pre-Quaternary Uplift in the Central Part of the Rhenish Massif. - In: FUCHS, K. et al. (Hrsg.): Plateau Uplift. The Rhenish Shield - a case history: 39-46; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- MORDZIOL, C. (1908): Beitrag zur Gliederung und zur Kenntnis der Entstehungsweise des Tertiärs im Rheinischen Schiefergebirge. - Z. deutsch. geol. Ges., **60**, Monatsber.: 270-284; Berlin.
- (1926): Flußterrassen und Löß am Mittelrhein. - Abh. naturwiss. Ver. Koblenz, **2**: 23-56; Koblenz.
- (1936): Beiträge zur "Fluvial-Stratigraphie". 1. Die Vallendar-Schotter als Typus eines "Primordial-Fluvials" nebst einem Ausblick auf die tertiäre Geschichte des Rheinischen Schiefergebirges. - Senckenbergiana, **18**: 283-287; Frankfurt a. M.
- (1951): Der geologische Werdegang des Mittelrheintales. - 64 S., 38 Abb.; Wittlich (Fischer).
- MÜCKENHAUSEN, E. (1954): Fossile Böden im nördlichen Rheinland. - Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, **65**: 81-103; Weinheim, Berlin.
- (1978): Rezente und fossile Böden (Paläoböden) der Eifel. - Kölner Geogr. Arb., **36**: 7-35; Köln.
- MÜCKENHAUSEN, E. & SCHALICH, J. (1982): Paläoböden der Eifel. - Geol. Jb., **F 14**: 176-184; Hannover.
- NEGENDANK, J. (1983): Cenozoic deposits of the Eifel-Hunsrück area along the Mosel river and their tectonic implications. - In: FUCHS, K., GEHLEN, K. v., MÄLZER, H., MURAWSKI, H. & SEMMEL, A. (Hrsg.): Plateau Uplift. The Rhenish Shield - a case history: 78-88; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- PAAS, W. (1961): Rezente und fossile Böden auf niederrheinischen Terrassen und deren Deckschichten. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **12**: 165-230; Öhringen.
- QUITZOW, H. W. (1969): Die Hochflächenlandschaft beiderseits der Mosel zwischen Schweich und Cochem. - Beih. Geol. Jb., **82**: 79 S., 4 Beil.; Hannover.
- (1974): Das Rheintal und seine Entstehung. Bestandsaufnahme und Versuch einer Synthese.- Centenaire de la société géologique de Belgique l'évolution quaternaire des bassins fluviaux de la mer du nord méridionale: 53-104; Liège.
- (1978): Der Abfall der Eifel zur Niederrheinischen Bucht im Gebiet der unteren Ahr. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **28**: 9-50, 2 Taf.; Krefeld.

- RAZI RAD, M. (1976): Schwermineraluntersuchungen zur Quartär-Stratigraphie am Mittelrhein. - Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, **28**: 164 S., 1 Beil.; Köln.
- ROTHAUSEN, K. & SONNE, V. (1984): Mainzer Becken. - Samml. geol. Führer, **79**: 203 S., 47 Taf.; Berlin, Stuttgart (Borntäger).
- SCHALICH, J. (1968): Die spätpleistozäne und holozäne Tal- und Bodenentwicklung an der mittleren Rur. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16**: 339-370; Krefeld.
- (1981): Boden- und Landschaftsgeschichte in der westlichen Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **29**: 505-518; Krefeld.
- SHELLMANN, G. (1988): Jungquartäre Talgeschichte an der unteren Isar und Donau unterhalb von Regensburg. - Inaug.-Diss. Univ. Düsseldorf, 332 S., 16 Beil.; Düsseldorf (Maschinenschrift).
- SCHIRMER, U. & SCHIRMER, W. (1988): Das Alter der Ebinger Terrasse. - In: SCHIRMER, W. mit Beiträgen von U. SCHIRMER, G. SCHÖNFISCH & H. WILLMES: Junge Flußgeschichte des Mains um Bamberg. - DEUQUA, 24. Tagung, Exkursion H: 10-13; Hannover.
- SCHIRMER, W. (1969): Terrassen und Deckschichten am südlichen Niederrhein. - Union internationale pour l'étude du Quaternaire, VIII. Congres INQUA Paris 1969: Etudes sur le Quaternaire dans le Monde, **1**: 572; Paris.
- (1973): State of research on the Quaternary of the Federal Republic of Germany. C 2. The Holocene of the former periglacial areas. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **23/24**: 306-320; Öhringen/Württ.
- (1974 a): Das Frimmersdorfer Interglazial. - In: WOLDSTEDT, P. & DUPHORN, K.: Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter: 267-270, Abb. 74, Tab. 24; Stuttgart (Koehler).
- (1974 b): Mid-Pleistocene gravel aggradations and their cover-loesses in the southern Lower Rhine Basin. - IGCP project 73/1/24: Quaternary glaciations in the northern hemisphere, report no. 1: 34-42; Prague (INQUA).
- (1983): Die Talentwicklung an Main und Regnitz seit dem Hochwürm. - Geol. Jb., A **71**: 11-43; Hannover.
- (1988): Erdgeschichtlicher Werdegang der Düsseldorfer Landschaft. - In: WEIDENHAUPT, H. (Hrsg.): Düsseldorf. Geschichte von den Ursprüngen bis ins 20. Jahrhundert, **1**: 47-78; Düsseldorf (Schwann).
- SCHIRMER, W. & STREIT, R. (1967): Die Deckschichten der niederrheinischen Hauptterrasse bei Erkelenz. - Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, **13**: 81-94; Köln.
- SCHNÜTGEN, A. (1973): Die Hauptterrassequenz am linken Niederrhein aufgrund der Schotterpetrographie. - Inaug.-Diss. Univ. Köln; Köln.
- (1974): Die Hauptterrassequenz am linken Niederrhein aufgrund der Schotterpetrographie. - Forschber. Land NRW, **2399**: 150 S., 5 Anlg.; Opladen.
- SCHNÜTGEN, A. & BRUNNACKER, K. (1976): Zur Kieselschiefer-Führung in Schottern am Niederrhein. - Decheniana, **130**: 293-298; Bonn.
- SCHWELLNUS, W. (1989): Landschaftsarchäologie im Rheinischen Braunkohlenrevier. - Kölner Techn. Mitt., **104** (4): 1-5; Köln.
- STEINMANN, G. (1907): Über Älteren Löß im Niederrheingebiet. - Z. deutsch. geol. Ges., **59**, Mb: 5-7; Berlin.
- STICKEL, R. (1936): Die genetische Gliederung und geochronologische Einstufung der Niederterrassequenzen am Mittel- und Niederrhein. - Decheniana, **93**: 351-368; Bonn.

- STRIEDTER, K. (1988): Holozäne Talgeschichte im Unterelsaß. - Inaug.-Diss. Univ. Düsseldorf, 235 S., 4 Krt.; Düsseldorf (Maschinenschrift).
- THOSTE, V. (1974): Die Niederterrassen des Rheins vom Neuwieder Becken bis in die Niederrheinische Bucht. - Inaug.-Diss. Univ. Köln: 130 S.; Köln.
- TROLL, C. (1954): Über Alter und Bildung von Talmäandern. - Erdkunde, 8: 286-302, 1 Beil.; Bonn.
- VINKEN, R. (1959): Sedimentpetrographische Untersuchung der Rheinterrassen im östlichen Teil der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 4: 127-170; Krefeld.
- ZAGWIJN, W. H. (1957): Vegetation, climate and time-correlations in the Early Pleistocene of Europe. - Geol. Mijnbouw, 19: 233-244; 's-Gravenhage.
- (1989): The Netherlands during the Tertiary and the Quaternary: A case history of coastal lowland evolution. - Geol. Mijnbouw, 68: 107-120; Dordrecht.
- ZÖLLER, L., STREMMER, H. & WAGNER, G. A. (1988): Thermolumineszenz-Datierung an Löß-Paläoböden-Sequenzen von Nieder-, Mittel- und Oberrhein/Bundesrepublik Deutschland. - Chem. Geol. (Isotope Geosc. Section) 73: 39-62; Amsterdam.

Anschrift: Prof. Dr. W. Schirmer
Abteilung Geologie
der Heinrich-Heine-Universität
Universitätsstr. 1
4000 Düsseldorf 1