

3.3 Geologische Übersicht

Darmstadts Geologie wird maßgeblich von der größten heute noch aktiven Störungszone in der Erdkruste Mitteleuropas, dem Oberrheingraben, geprägt. Diese moderne Riftzone mit hoher wasserwirtschaftlicher Bedeutung erstreckt sich z. T. mit Unterbrechungen vom westlichen Mittelmeer bis nach Norddeutschland. Der Grabenbruch verläuft mitten durch das Stadtzentrum und trennt das kristalline Grundgebirge von den quartären Ablagerungen im Westen (Abb. 3.6). Im Osten der Stadt wird das Grundgebirge von Sedimenten und Vulkaniten des Rotliegenden überlagert. Der östlich dieser Verwerfungszone sich anschließende kristalline Odenwald ist Teil des variszischen Gebirges. Das kristalline Grundgebirge im Südosten der Stadt zählt als geologische Einheit zum nördlichen Bergsträßer Odenwald, dessen in erzgebirgischer Richtung streichende Faltenzüge sich hauptsächlich aus Metamorphiten sowie dazwischen eingedrungenen Magmatiten zusammensetzen (Mitteldeutsche Kristallinschwelle). Die magmatischen Gesteine bestehen hier meist aus Granit, Granodiorit, Diorit und Diabas. Im Rahmen der variszischen Orogenese erfolgte die Verfaltung in mehreren Phasen mit amphibolitfazieller Metamorphose und Intrusionen von Gabbro bis zu Diorit sowie granitoiden Intrusionen unter Durchbewegung zwischen Unter- und Oberkarbon (NICKEL 1985). Der östliche Teil Darmstadts gehört zum kristallinen Odenwald. Hier tritt im Osten der Stadt ein Granodiorit auf, der im Südosten von Diabasen begrenzt sowie westlich von den Rheingrabenverwerfungen abgeschnitten wird. Der Oberrheingraben ist hier als Staffelbruch mit treppenartigen Abschiebungen nach Westen ausgebildet. Das kristalline Grundgebirge wurde seit Beginn der Grabenbildung im Tertiär von zahlreichen Verwerfungen durchtrennt, welche die charakteristischen Staffelbrüche an der östlichen Grabenflanke bilden. Quartäre Sande, Kiese sowie Flugsande und Löß bedecken den Hauptabbruch des Oberrheingrabens im Westen der Stadt. Diese jungen Sedimente sind im Südwesten über 100 m mächtig und belegen die starke Absenkung der Grabenscholle seit dem Tertiär.

3.4 Geologischer Aufbau

Die Schichtglieder im bebauten Stadtbereich werden hier beschrieben. Auf die randlich auftretenden Kristallingebiete wird in diesem Abschnitt nicht weiter eingegangen (vgl. hierzu NICKEL 1985, CHELIUS 1890a, CHELIUS 1890b, KLEMM 1910, KLEMM 1938 und KUPFAHL & MEISL & KÜMMERLE 1972).

3.4.1 Grundgebirge

Der im Zentrum Darmstadts auftretende Plutonit ist nach NICKEL (1985) den Granodioriten zuzuordnen. Da natürliche Aufschlüsse des Granodiorits im heutigen Innenstadtbereich aufgrund der starken Neubautätigkeit seit Ende der 60er Jahre nicht mehr vorhanden sind, muß hier auf Bohrungen, die in diesem Bereich insbesondere im Zusammenhang von Baugrunduntersuchungen und Kanalneubauten abgeteuft wurden, zurückgegriffen werden.

Die Bessunger Kiesgrube (L 3) südlich des bebauten Stadtgebietes ist der einzige größerer Aufschluß. Der hier stark vergrusste Granodiorit mit eingelagerten Festgesteinskörpern dokumentiert deutlich den Übergangsbereich vom anstehenden Fels zur darüber liegenden Verwitterungsschicht. Die im Tertiär erfolgte tiefgründige Verwitterung des alten Gebirgssockels unter feuchtwarmen Klimaten wird hier durch sphärische Granodioritkörper, die in einer Matrix aus vertonten Verwitterungsprodukten des Magmatits mit Korngrößen im Kiesbereich und Festgesteinsbruchstücken liegen, belegt. An den Klüften im anstehenden Fels erfolgte eine tiefgründige chemische Verwitterung durch zirkulierende Kluftwässer. Die Kanten einzelner Blöcke rundeten sich durch konzentrischschalige Verwitterung (Desquamation) ab, und der entstehende Verwitterungsgrus wurde zum Teil schon im Tertiär ausgewaschen. Während der

Eiszeiten im Pleistozän waren die bereits gerundeten Blöcke schließlich dem weiteren Zersetz durch Frosteinwirkung ausgesetzt. Diese Verwitterungsresiduen des Festgesteins wurden bei der Aushebung von vielen Baugruben angetroffen, so daß im gesamten Stadtgebiet von Darmstadt erratische Blöcke zu finden sind, die eine typische Wollsackverwitterung des Granodiorits zeigen. Nach MATTHEß (1964) erfolgte die Vergrusung in zwei Zeitabschnitten, eine ältere während der Bildung der permischen Landoberfläche und eine im Jungtertiär und Altpleistozän.

In der Literatur werden ehemalige Kristallinaufschlüsse in der Nähe des großen Woogs (L 2) sowie auf der Mathildenhöhe (L 12) beschrieben (CHELIUS 1890a, Lage s. Abb. 3.5). Bei verschiedenen Baugrund- und Wassererschließungsbohrungen in den Stadtteilen Bessungen (L 9), Woogsviertel (L 10), Martinsviertel (L 15), Lichtwiese (L 14) und am Böllenfalltor (L 13) wurde der Granodiorit erbohrt (Lage der Stadtteile s. Abb. 3.5). Es zeigt sich, daß die heterogen ausgebildete Vergrusungszone in ihrer Mächtigkeit lokal stark variieren und Mächtigkeiten bis über 40 m aufweisen kann.

Im Juli 1998 wurde eine Detailerkundung im Stadtteil Woogsviertel (L 10) durchgeführt. Zur Untersuchung der lokalen geologischen Verhältnisse wurden in den Jahren 1998 und 1999 14 Rammkernsondierungen und 2 Kernbohrungen mit einer maximalen Tiefe von 8 m abgeteuft und z. T. als Meßstellen ausgebaut.

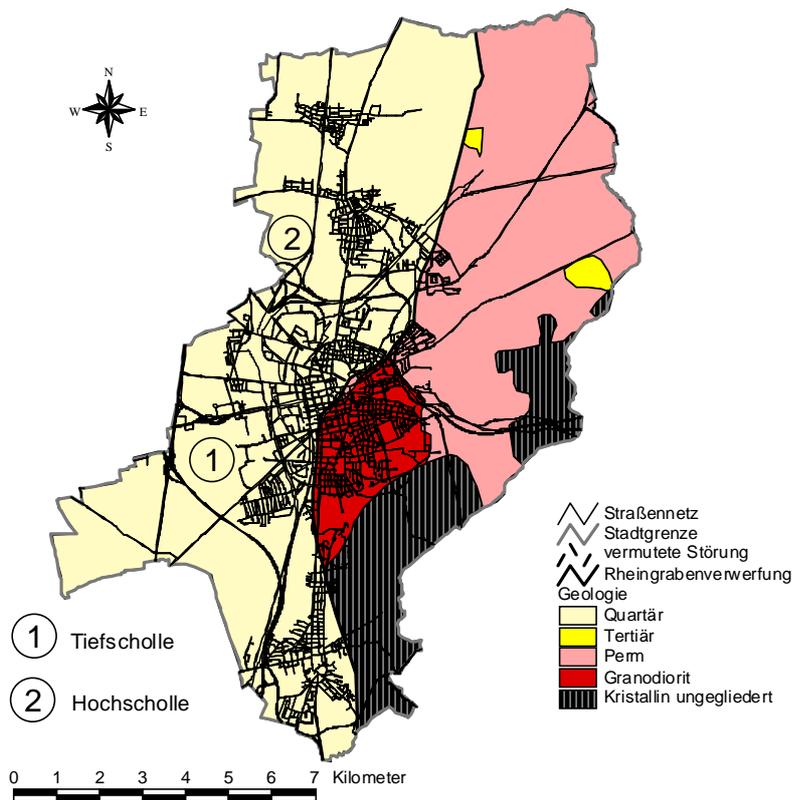


Abb. 3.6: Geologische Übersichtskarte und tektonische Hauptelemente im Stadtgebiet ²

² Die Daten entstammen der Geologischen Übersichtskarte von Hessen im Maßstab 1:300.000, den Geologischen Manuskriptkarten des Tiefbauamtes Darmstadt 1:10.000 (4 Blätter) und der Geologischen Karte im Maßstab 1:25.000 Blatt 6117 - Darmstadt-West, 6118 - Roßdorf, 6018 - Langen, 6217 - Zwingenberg, 6016 - Groß-Gerau und 6017 - Mörfelden sowie FAHLBUSCH (1980).

Die Vergrusungszone weist hier eine Mächtigkeit von 2,5 (5,3 bis 7,8 m u. Gel) bis 4 m (3,1 bis 7,1 m u. Gel) auf. Die Korngrößenzusammensetzung des vergrusten Granodiorits ist je nach Verwitterungsgrad, Ausbildung des Ausgangsgesteins und Grundwasserstand sehr heterogen und liegt im Spektrum zwischen einem schwach schluffig bis schluffigen, sandigen Fein- bis Mittelkies. Der unverwitterte Granodiorit wurde bei 7,1 bis 7,8 m u. Gel angetroffen.

Innerhalb des Granodiorits treten Ganggesteine von unterschiedlicher Genese und Petrologie auf. Im allgemeinen streichen sie entweder in erzgebirgischer oder herzynischer Richtung. An den Granodiorit schließen sich im südöstlichen Bereich des Stadtgebietes Amphibolite, Kalksilikatefelse und ein etwa 800 m breiter Diabaszug an.

3.4.2 Deckgebirge / Perm

Das Grundgebirge wird im Norden der Stadt von Sand- und Tonsteinen, Konglomeraten sowie Arkosen des Rotliegenden überdeckt. Die Arkosen des Rotliegenden im Odenwald und Sprendlinger Horst sind umgelagerter Grus bzw. Verwitterungsprodukte des Grundgebirges (MATTHEß 1964). Die größtenteils terrigenen klastischen Sedimentgesteine wurden im Perm nach äolischem oder fluvialem Transport in SW-NE-orientierten Trögen bei semiariden bis ariden Klimabedingungen abgelagert. Am Vivarium (L 16) und nördlich der Dieburger Straße (L 17) überdecken sie Permbasalte, sog. Melaphyre, die Relikte des ehemals basisch effusiven Vulkanismus darstellen. Die hier aufgeschlossenen Vulkanite weisen ein blasiges Gefüge mit sekundären Kalzitfüllungen auf. Ehemalige Melaphyrbrüche am Oberfeld (L 18) östlich der Rosenhöhe (L 19) wurden rekultiviert (Lage der Lokalitäten s. Abb. 3.5).

FAHLBUSCH (1974) erwähnt Perm-Basalt-Aufschlüsse im Bereich der Schnittpahnstraße (L 20) und auf der Lichtwiese an der Grenze zum Tiefengestein. Weitere Hinweise zum Grenzbereich zwischen Kristallin und Rotliegendem gibt KLEMM (1938) mit der Beschreibung des Bahneinschnitts östlich der Mathildenhöhe im nordöstlichen Stadtgebiet (L 21). Wassererschließungsbohrungen an der Erbacher Straße trafen ab 2,8 m u. GOK auf Melaphyr (L 22). Weitere Aufschlüsse im Innenstadtbereich, in denen bei Baumaßnahmen Rotliegendeschollen im Bereich des Luisenplatzes (L 23) und der Wilhelminenstraße (L 24) sowie am Staatstheater (L 25) und Schloß (L 26) angetroffen wurden, belegen hier den Verlauf der Rheingrabenverwerfung durch das Stadtzentrum. Es handelt sich um Rotliegendeschollen, die das kristalline Grundgebirge am östlichen Rand der Rheingrabenverwerfungen überlagern und die treppenartig nach W bis NW auf listrischen Flächen abgeschoben und gegeneinander versetzt sind. Einen Aufschluß in der Goethestraße (L 27) mit roten Sand- und Tonsteinen sowie dolomitischen Kalkbänken wird von CHELIUS (1890a) beschrieben.

Das Grundgebirge taucht nach Westen über 2000 m ab, so daß in einer Tiefbohrung bei Weiterstadt ca. 6 km nordwestlich des Stadtzentrums im Oberrheingraben das Rotliegende von 1773 m bis 2170 m u. GOK durchteuft und die Bohrung bei 2505 m im kristallinen Basement eingestellt wurde. MARELL (1989) beschreibt die 400 m mächtige Rotliegendefolge im wesentlichen als Wechsellagerung von Mittelsand- und Siltsteinen mit Einschaltungen von Basalten.

Bohrungen zur Erdölexploration im Bereich des Ölfeldes Stockstadt etwa 18 km südwestlich von Darmstadt erreichten das Rotliegende 1556 m u. GOK und trafen das Kristallin bestehend aus Granodiorit in 2234 m Tiefe. Nach STRAUB (1962) entfallen bei der 688 m mächtigen Rotliegendefolge 150 m auf das Unterrotliegende mit grauen bituminösen Tonsteinen und ca. 540 m auf das Oberrotliegende, das sich hier in der Bohrung aus Melaphyren und roten, meist sandigen sowie konglomeratischen Tonen zusammensetzt.

3.4.3 Tertiär

Im Übergangsbereich zum Oberrheingraben westlich der Innenstadt wurde in einigen Bohrungen Tertiär angetroffen, das anstehend nur nördlich des Karlshofes (L 28) am Grabenrand des Sprendlinger Horstes auftritt (vgl. FAHLBUSCH 1980). Im Gegensatz zu den Bohrungen im Bereich DA-Mitte bis DA-West, die Tertiär in Tiefen ab ca. 80 m aufschlossen, wurde in Aufschlüssen südlich von Arheilgen das Tertiär schon in wesentlich geringeren Tiefen von ca. 35 m erbohrt (REINHEIMER 1933).

In dem bekannten Aufschluß der Grube Messel nordöstlich von Darmstadt sind mitteleozäne Süßwasserablagerungen in Form von bituminösen Schiefen, sog. Ölschiefer, erhalten geblieben. Die Sedimente wurden ehemals zur Ölgewinnung abgebaut und genutzt.

Im Oberpliozän treten typische graue, gelbliche und weiße feinkörnige, meist tonhaltige Sande mit Einlagerungen von Braunkohle und Tonlinsen auf. Die Kiese, in der Regel Buntsandsteingerölle, sind gebleicht und weisen scharfkantige Gangquarze, Quarzit und Hornstein auf.

Zur Zeit des Unteroligozän sowie ausgedehnter im Mitteloligozän drang das Meer von S bis in den Darmstädter Raum vor und verband den gesamten Graben bis zum Nordmeer zeitweise mit der Tethys (SCHÖNENBERG & NEUGEBAUER 1994). Das Miozän war in Darmstadt in der Nähe des Karlshofes (L 28) durch ehemals dort angelegte Tongruben aufgeschlossen. Die dunklen Tonmergel, die im letzten Jahrhundert hier abgebaut wurden, sind Ablagerungen des Meeres, das zu Beginn des Miozän die heutige Oberrheinische Tiefebene bedeckte. KLEMM (1938) beschreibt hier hell- bis dunkelgraue und tiefschwarze Tone mit kalkigen Bändern. Eine Bohrung im Stadtzentrum in der Mauerstraße (L 29), die ab 152 m Tiefe die Unteren Corbículaschichten des Miozän erreichte, wird von LEPSIUS (1890) beschrieben; die Grenze Pleistozän-Pliozän wurde hier bei 35,5 m erbohrt. PRINZ (1966) erwähnt etwa 40 m östlich dieses Aufschlusses in einer 20 m tiefen Brunnenbohrung Granodiorit, so daß hier der Kristallinkomplex offensichtlich nahezu senkrecht nach NW abtaucht. Ähnliche Verhältnisse belegt eine Bohrung auf dem Karolinenplatz (L 30, Stadtzentrum), die bei 150 m u. Gel. die Hydrobienschichten des Unteren Miozän erreichte und darüber paläozoische Schollen aufschloß (FAHLBUSCH 1970).

Pliozän und Pleistozän erreichen zusammen im Oberrheingraben bei Heidelberg eine Mächtigkeit von ca. 1000 m. Die größte Sedimentmächtigkeit der gesamten känozoischen Grabenfüllung von 3355 m wird nach SCHÖNENBERG & NEUGEBAUER (1994) im Bereich westlich von Mannheim bei Frankenthal (Rheinland-Pfalz) erreicht. Im Tertiär setzte mit der Entwicklung des Oberrheingrabens als kontinentales Rift ein starker Vulkanismus ein. CHELIUS (1890a) beschreibt tertiäre Basaltgänge, die in NS- und WNW-ESE-Richtung streichend das Kristallin in Bessungen (L 9) durchschlugen.

3.4.4 Quartär

Im Verlaufe des Tertiärs veränderten sich die tropischen Klimaverhältnisse zu dem gemäßigten Klima des Quartärs. Im Rahmen der pleistozänen Vereisung wandelte sich das Sedimentations- und Transportregime, und als Reaktion auf die klimatischen Impulse verlegten die Flüsse Main, Neckar und Rhein ihren Lauf. Während Aufschotterungen von Grobklastika in Kaltzeiten dominierten, wurden im Interglazial feinklastische Sedimentfolgen abgelagert, was in Bohrprofilen an zyklische Sequenzen von Glazial-Interglazial Folgen wiederzufinden ist. Es herrschte eine Sedimentation von terrigenen, limnischen und fluviatilen von den aufsteigenden Grabenflanken gelieferten Verwitterungsprodukten

vor. In der Würmeiszeit vereinigten sich verschiedene Schuttfächer zum Darmstädter Schuttkegel (SCHMITT 1955). Durch äolischen Sedimenttransport entstanden Flugsandgebiete und Dünen. Es handelt sich hierbei um zwei Flugsandgenerationen, wovon die ältere größere Gerölle enthält, die zudem einen fluviatilen Transport erfordern (SCHOTTLER 1926, DIEHL 1933). Während die älteren Flug- und sogenannten Schuttkegelsande zur Zeit des vegetationsarmen Würmglazials entstanden, wurden die jüngeren Flugsande erst im Holozän abgelagert.

Die quartäre Rheingrabenfüllung setzt sich aus kalkhaltigen Kiesen, Sanden und tonig-schluffigen Sanden zusammen. Nach ANDERLE (1968) besteht das Quartär hauptsächlich aus Sanden und Kiesen mit gelegentlichen humosen tonig-schluffigen Einlagerungen, während das Tertiär im wesentlichen feinklastischer mit kalkiger und mergeliger Fazies ausgeprägt ist. Die Grenze zum Tertiär läßt sich nach SCHEER (1978) lithologisch durch einen fehlenden Kalkgehalt und ein Vorkommen von gebleichten Sandsteinen und Kiesen feststellen. Der Übergang vom Pleistozän zum Pliozän, der aufgrund von geringer Faziesdifferenzierung schwer festzulegen ist, wird anhand dieser lithologischen Auffälligkeit bestimmt.

Im Stadtgebiet von Darmstadt gehen die Mächtigkeiten der quartären Rheingrabensedimente stark zurück. Von Darmstadt bis Erzhausen (10 km nördlich von Darmstadt) erstreckt sich dem Odenwald vorgelagert ein Bereich mit oberflächennahen tonigeren Ablagerungen (ANDERLE 1968). Diese Ablagerungen begrenzen das sandig-kiesige Pleistozän nach unten zum Pliozän. Das Quartär ist hier im Gegensatz zum zentralen sandig-kiesig ausgebildeten Bereich des Rheingrabens wesentlich feinkörniger ausgeprägt und weist mächtige Toneinlagerungen auf. Bohrungen nordwestlich von Darmstadt zeigen hier zwei mächtige Tonlagen im Bereich zwischen 30 und 35 m sowie in 45 - 70 m Tiefe. Außerdem konnten im nördlichen Bereich von Darmstadt mehrere Tonhorizonte anhand einer Vielzahl von ausgewerteten Bohrungen auskartiert werden (Abb. 3.14 u. 3.12). Am Hauptbahnhof (L 31), im östlichen Bereich des Stadtgebietes, beträgt die Quartärmächtigkeit etwa 100 m (SCHMITT 1966).

Eine Zone mit abrupter Mächtigkeitsreduktion des Quartärs verläuft zwischen Gräfenhausen und Rüsselsheim (Gräfenhäuser-Bruchzone, s. Abb. 3.6). Die Mächtigkeiten liegen westlich dieser Zone zwischen 50 und 100 m und östlich im Bereich von 10 bis 30 m. Die maximalen Quartärmächtigkeiten im nördlichen Oberrheingraben belaufen sich auf 150 m (SCHEER 1978). In einer Bohrung an der Wilhelm-Leuschner-Schule (L 32) im Südwesten der Stadt wurden bis 88 m u. Gel. quartäre Sande mit zwischengelagerten Schluff- und Feinsandhorizonten sowie eingelagerten permischen Kalkgeröllen und Kalkplatten angetroffen; ab dieser Tiefe wurde das Tertiär bis zur Endtiefe von 96 m erbohrt (Abb. 3.14, TB 21). Das Auftreten der Permsedimente ist hier ebenfalls an die Nähe zur tektonischen Linie der Grabenrandverwerfung, die 750 m östlich der Bohrung in NS-Richtung verläuft, geknüpft.

3.5 Tektonik

Im frühen Tertiär begannen im Bereich des Oberrheingrabens die Einmuldungen, die im Miozän zeitweise unterbrochen wurden und sich vermutlich bis heute noch fortsetzen (MÜLLER & PRINZ 1966, FAHLBUSCH 1975, PFLUG 1982 und EISBACHER 1996). Der "moderne" Graben erstreckt sich entlang der Scheitelung einer weit gespannten Aufwölbung des Erdmantels (SCHÖNENBERG & NEUGEBAUER 1994). Im Rahmen von ausgedehnten seismischen Kartierungen zur Öl- und Gasexploration in den 50er Jahren im mittleren und nördlichen Teil des Oberrheingrabens wurden die tektonischen und strukturellen Eigenschaften der Grabengeometrie untersucht.

Nach STRAUB (1962) begann im nördlichen Teil des Grabens die Absenkung im Westen, und die maximale Intensität der Schollenbewegungen wurde während der Ablagerung der Cerithien- sowie der Corbículaschichten des Miozän erreicht. Eine Unterbrechung der relativ aktiven tektonischen Phase war während der Ablagerung der Hydrobienschichten zu verzeichnen. Im Jungtertiär (Pliozän und Grenze Miozän-Pliozän) erfolgte die weitere Belebung der Tektonik (STRAUB 1962).

Der Graben zeigt in EW-Richtung eine strukturelle Asymmetrie und in NS-Richtung treten von S nach N immer ältere Schichten unter dem Tertiär auf. Der Strukturplan der Oberkante Oligozän im Oberrheingraben zeigt nach ANDRES & SCHAD (1959), daß die Hauptbeckenachse im nördlichen Grabenbereich westlich von Darmstadt in SE-Richtung verläuft und in S-Richtung bis nach Heidelberg unmittelbar der östlichen Grabenschulter vorgelagert ist. Die Hauptbeckenachse verlagert sich in diesem Bereich sehr stark von der Mitte nach Osten (ANDRES & SCHAD 1959; vgl. auch VEIT 1953 und STRAUB 1962).

Der nördliche Oberrheingraben weist morphologisch hervortretende wirksame Randbrüche auf (vgl. auch NÖRING 1958). Mit der Annäherung der östlichen Grabenschulter von Süden nach Norden an die östliche Untermainebene variieren die tektonischen Elemente von NS nach NE bis ENE, und es treten häufiger die streichenden Elemente der Saar Senke und des Rheinischen Schiefergebirges sowie die NW- bis NNW-streichenden Strukturlinien hervor. Für die Sprunghöhe zwischen Beckenachse und Grabenschulter wird am östlichen Grabenrand 25 km südlich von Darmstadt ein Betrag von mindestens 3500 - 3800 m angegeben, während an der westlichen Grabenschulter geringere Sprunghöhen von 2000 - 3000 m auftreten (ANDRES & SCHAD 1959).

Generell ist festzustellen, daß in den unmittelbaren Randregionen des Grabens unterschiedlich tief abgesenkte Schollen auftreten. Das Stadtgebiet Darmstadt liegt auf hochgelegenen Randschollen mit einem Schichtanstieg nach Nordwesten (VEIT 1953 und HECHT 1953). Im Zentrum der Stadt ist der Bereich dieser Störungszone als Staffelbruch mit flach nach Westen einfallenden Randschollen ausgebildet. Die Sprunghöhen dieser Randschollen belaufen sich im zentralen Stadtbereich an der Wilhelminenstraße, am Schloß und Marktplatz (L 26) auf etwa 10 - 30 m und sind anhand einer Vielzahl von Bohrungen belegt.

Die größten Mächtigkeiten des Quartärs in Darmstadt liegen im südwestlichen Stadtgebiet vor. Dieses Gebiet entspricht dem zentralen Bereich des Oberrheingrabens mit großen jungen Absenkungsraten. Er reicht von Süden bis zu einer Linie "Schloß (L 26) - Johannesplatz (L 33) - Gräfenhäuser Straße (L 34)" heran (Abb. 3.5, 3.7 u. 3. 14). Entlang dieser Linie verläuft das von Rüsselsheim bis zum Stadtzentrum Darmstadt nachgewiesene Störungssystem der Gräfenhäuser-Bruchzone, das anhand einer Vielzahl von Aufschlüssen belegt ist und sich aus nach NW und NNW gerichteten tektonischen Elementen zusammensetzt (ANDERLE 1968, VEIT 1953, STRAUB 1962, ANDRES & SCHAD 1959, HECHT 1953 und WAGNER 1950). Nordöstlich dieses Lineaments liegen geringere Senkungsbeträge vor. Die relativ hochgelegene Randscholle, die dem nördlichen Bereich von Darmstadt zwischen Odenwald und der Gräfenhäuser-Bruchzone vorgelagert ist, wird als ein eigenständiger tektonischer Bereich betrachtet.

Die Grabenflanke verläuft im Süden des Arbeitsgebietes parallel zur Heidelberger Straße (L 35); östlich dieser Linie ist Granodiorit anzutreffen, der nach Westen durch Verwerfungen abgeschnitten wird. Dies wird durch eine Bohrung in der Rüdeshheimer Straße (L 36) belegt, in der die Rotliegend-Schollen in quartären Sedimenten in einer Tiefe von 15 - 20 m u. Gel. angetroffen wurden. Westlich der Heidelberger Straße liegen über dem Grundgebirgssockel quartäre Sedimente. Bohrungen im Stadtzentrum belegen den weiteren Verlauf der Grabenrandverwerfungen nach Norden. Vom Staatstheater (L 25) aus streicht der Hauptabbruch in nordöstliche Richtung über den Luisenplatz

(L 23) zum Schloß und dem Verwaltungsgebäude der Technischen Universität am Karolinenplatz (L 30; MÜLLER & PRINZ 1967, FAHLBUSCH 1980), um dann nördlich der Bahnbrücke an der Dieburger Straße (L 21) wieder nach Norden einzuschwenken (Abb. 3.5 u. 3.6). Die meist in NS-Richtung streichende Rheingrabenverwerfung geht in ihrem Verlauf teilweise von der rheinischen in die erzgebirgische Richtung über. Darmstadt besteht im Zentrum aus einer Hochscholle, die durch erzgebirgisch streichende Störungen in ein Schollenmosaik zerlegt ist. Die Tiefengesteine tauchen im Bereich der TU-Gebäude und der Schlosses (L 26) relativ flach nach Norden und Westen ab. Nach FAHLBUSCH (1970) ist im Bereich der Grabenschulter ein Abtauchen des Tiefengesteinskörpers entlang erzgebirgisch streichender Störungen und Blattverschiebung sowie entlang nordsüdverlaufender steiler Bewegungsfugen im Tiefengesteinssockel vorhanden.

Die Auswertung der Kluftriosen mittels Kluftriosen läßt deutlich zwei Hauptkluftrichtungen erkennen (Abb. 3.7). Hierbei handelt es sich um die rheinische Richtung, die insbesondere in den Kluftriosen K 1 - K 3 mit Werten von 15° bis 35° / 75 bis 85 (Clar) dominiert. Ein weiteres Kluftriosensystem in herzynischer Richtung ist mit $290 - 315 / 70 - 90$ (Clar) vor allem in den Kluftriosen K 4 - K 5 stärker ausgeprägt. Ferner wurden erzgebirgisch streichende, steil bis saiger stehende Diskontinuitäten sowie Gänge mit $130 - 150 / 80 - 90$ (Clar) erfaßt (K 3). Die Hauptstörungsrichtungen, die ebenfalls in Abb. 3.7 dargestellt sind, bestätigen die Kluftriosenwerte mit herzynischem und rheinischem Streichen. Im Bereich der Bessunger Kiesgrube (K 1) ist ein stark geklüfteter Granodiorit mit einem hohen Durchtrennungsgrad sowie Kluftriosenöffnungsweiten von 5 - 10 mm und größer aufgeschlossen. Hier treten außerdem nach Norden einfallende Diskontinuitäten - evtl. Lagerklüfte des Plutons - mit $354 - 12 / 40$ (Clar) auf.

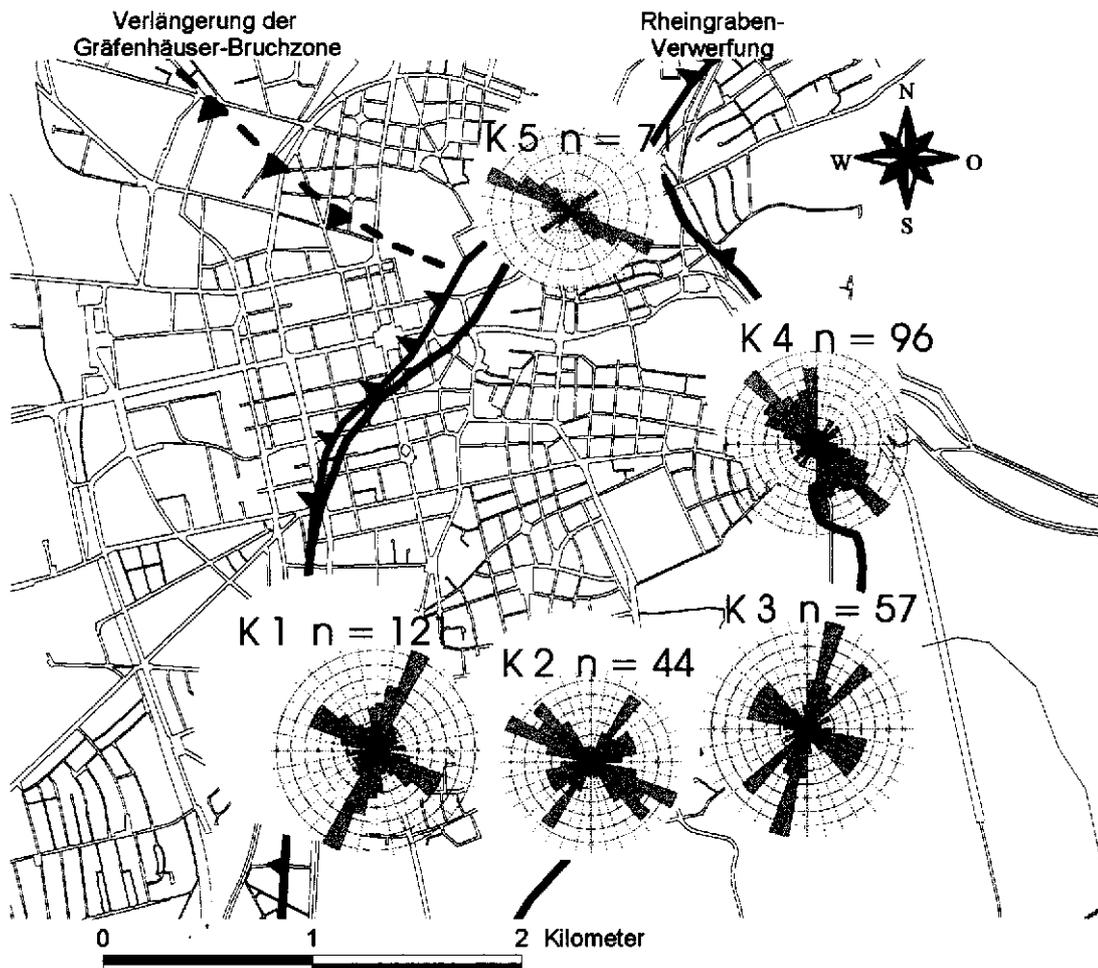


Abb. 3.7: Kluftriosen K 1 bis K 5 und Hauptverwerfungen in Darmstadt

3.6 Klimatische Verhältnisse

Das Arbeitsgebiet gehört zum Klimabereich Rhein-Main-Gebiet. Im Oberrheingraben treten relativ hohe Temperaturen und kleine Niederschlagshöhen, die den kontinentalen Einfluß widerspiegeln, auf. Südöstlich schließt sich der Klimabezirk östlicher Odenwald mit atlantisch beeinflusstem Klima und größeren mittleren Niederschlagshöhen sowie niedrigeren durchschnittlichen Temperaturen an (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT 1992). Großräumig ist das bearbeitete Gebiet dem Klimaraum Südwestdeutschland mit verhältnismäßig warmen Sommern und milden Wintern zuzurechnen. Das Einzugsgebiet des Schwarzbaches gehört mit 550 bis 750 mm Niederschlag pro Jahr (im Mittel ca. 600 mm) zu den niederschlagsarmen Regionen und liegt weit unter dem Bundesdurchschnitt von 834 mm/a (REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT 1993). In Darmstadt lag die mittlere Jahrestemperatur im Zeitraum von 1973 bis 1997 bei rd. 10,3 °C. Die mittlere Temperatur im Jahr 1997 betrug rd. 10 °C. Die höchste mittlere Jahrestemperatur mit 11,5 °C wurde 1994, die niedrigste mit 8,6 °C 1996 gemessen.

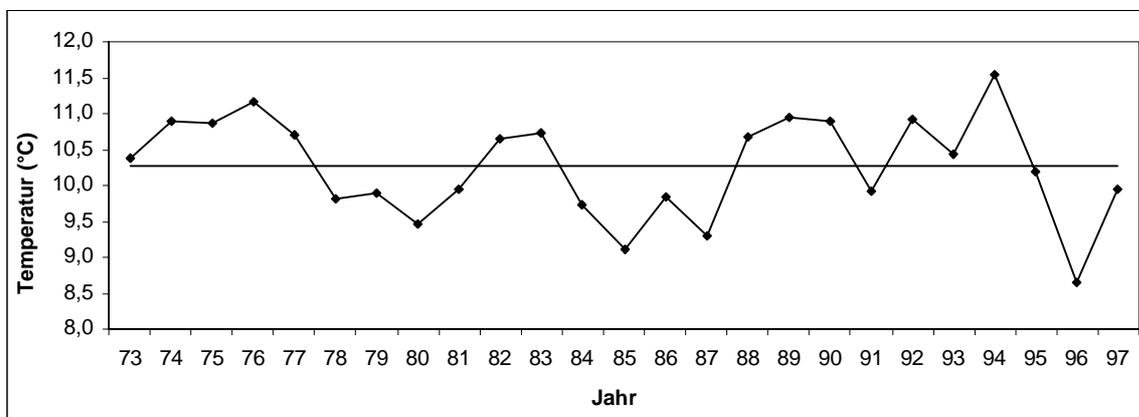


Abb. 3.8: Mittlere jährliche Lufttemperaturen in Darmstadt

Die 700 mm Isohyete von 1951 - 1980 verläuft durch Darmstadt etwa in NS- bis NE-SW-Richtung. Im Osten der Stadt liegt die mittlere Niederschlagshöhe im Jahr bei 700 - 750 mm, im Westen bei 650 - 700 mm. Sie verteilt sich mit ca. 400 - 450 mm auf das Sommerhalbjahr und mit 300 mm auf das Winterhalbjahr in Darmstadt-Ost sowie 275 - 300 mm im Winterhalbjahr in Darmstadt-West (REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT 1985). Für den Zeitraum von 1891 - 1955 wurden die Isolinien der mittleren jährlichen Niederschläge aus HLFU (1992) entnommen (Abb. 3.9). Die Daten für den südwestlichen Bereich im Zeitraum von 1970 bis 1995 entstammen MIKAT (1998). Hierbei wurden die 6 Niederschlagsstationen Eschollbrücken, Pfungstadt, Darmstadt, Alsbach, Groß-Gerau und Jägersburg zur Ermittlung des Gebietsniederschlags verwendet (Abb. 3.9). Die für verschiedene Zeiträume erstellten Isohyeten zeigen deutlich einen Anstieg der Niederschlagshöhe im östlichen Bereich des Odenwaldkristallins. Im Zeitraum von 1970 bis 1995 liegen die Differenzen der mittleren Niederschläge zwischen dem westlichen Bereich des Rheingrabens und dem Kristallingebiet im zentralen Stadtbereich bei rd. 40 mm bzw. 6 % des mittleren Niederschlags im Grabenbereich. Generell ist bei Betrachtungen der Grundwasserneubildung neben der regionalen geologischen und urbanen Variabilität auch die räumliche Variabilität der klimatischen Randbedingung zu berücksichtigen. Aufgrund der geringen EW-Erstreckung des Arbeitsgebietes ist dies hier jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 3.10 bildet das zeitliche Verlaufsmuster des Niederschlags an der Niederschlagsstation Darmstadt mit einem 3D-Modell ab. Hierzu wurden die monatlichen Messungen M (M = 1..12) gegen die Jahre J (J = 1988..1998) aufgetragen.

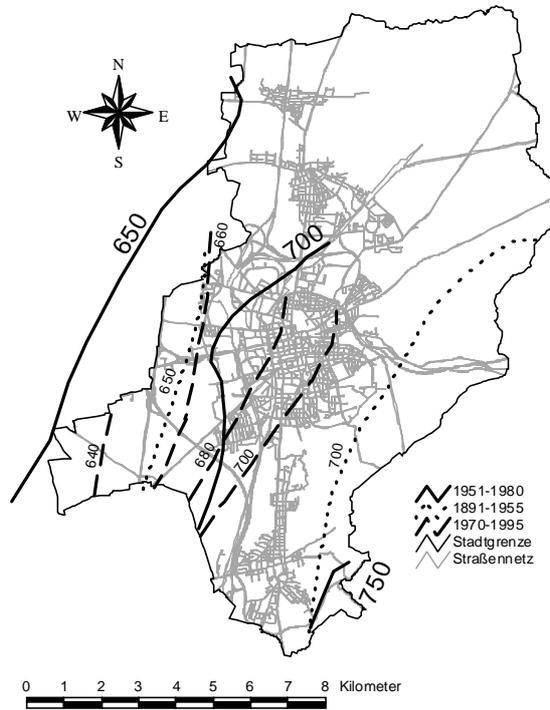


Abb. 3.9: Räumliche Niederschlagsverteilung der Zeiträume 1891 - 1955, 1951 - 1980 u. 1970 - 1995

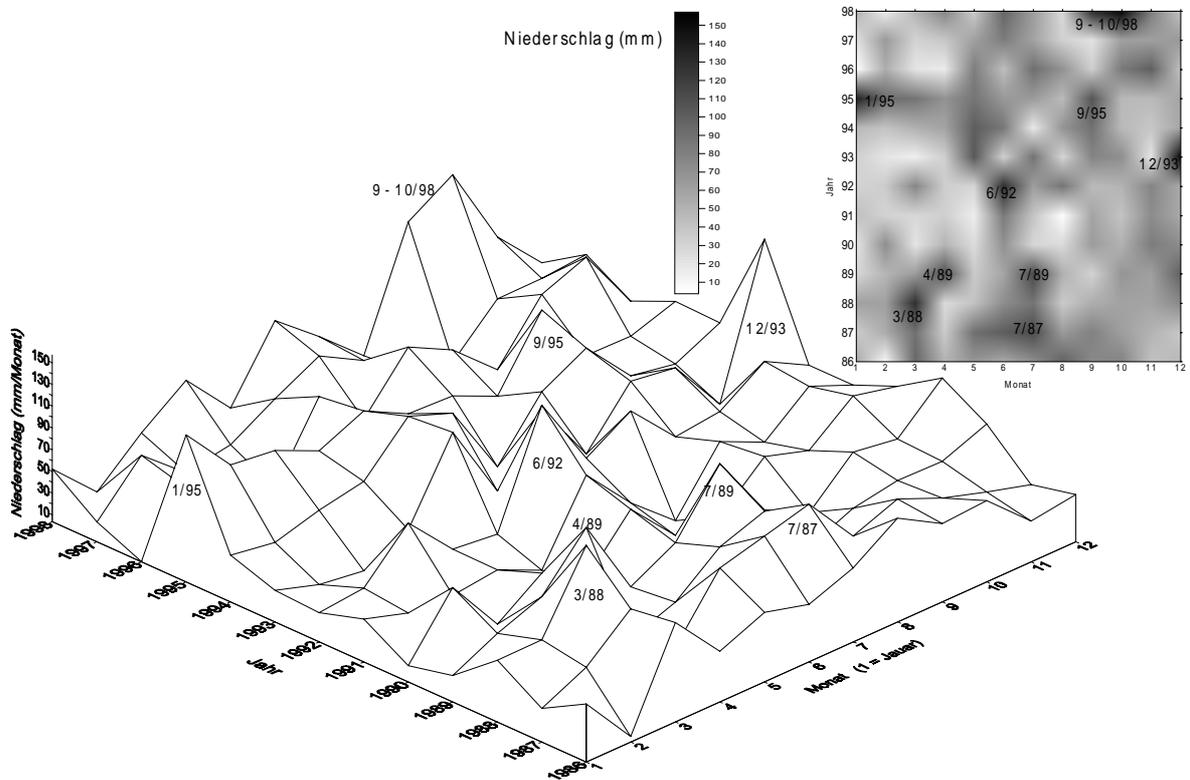


Abb. 3.10: Zeitliche Niederschlagsverteilung von 1986 bis 1998 und die 10 größten Monatssummen

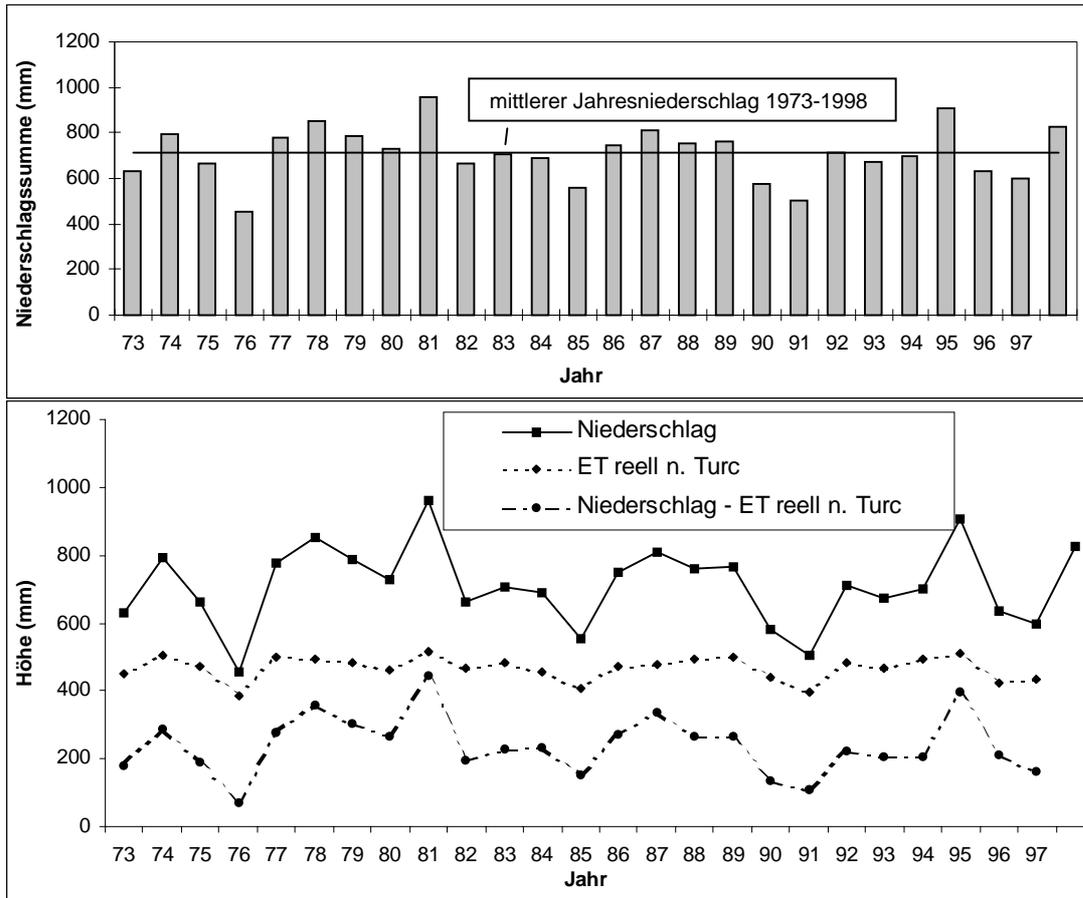


Abb. 3.11: Niederschlag (oben); reelle Evapotranspiration nach TURC sowie Differenz

Hiermit lassen sich einerseits die maximalen Werte innerhalb eines Jahres, des gesamten Zeitraums und die Meßwerte eines bestimmten Monats verschiedener Jahre vergleichend gegenüber stellen. Das 3D-Modell zeigt im jährlichen Verlauf größere Niederschläge in der 2. Jahreshälfte sowie Starkereignisse, die im Sommer auftreten und z. T. die jährlichen Maxima übersteigen (7/89, 7/87, 6/92). Außerdem zeigt sich ein längerfristiger Trend zu steigenden Starkereignissen (3/88, 6/92, 9/95, 10/98). Die 10 größten monatlichen Niederschlagssummen (> 105 mm) im Beobachtungszeitraum sind in Abb. 3.10 eingetragen. Die größte Monatssumme von 157 mm wurde im Oktober 1998 gemessen.

Die reelle Evapotranspiration kann nach TURC (1954 zit. in MATTHEß & UBELL 1983) berechnet werden:

$$(3.1) \quad ET_{\text{reell}} = \frac{N}{\left(0,9 + \left(\frac{N}{J_t}\right)^2\right)^{0,5}} \quad (\text{mm/a})$$

N Jahresniederschlagshöhe (mm)
 J_t $300 + 25 \cdot t + 0,05 \cdot t^3$
t Jahresmittel der Temperatur (°C)

In Abb. 3.11 ist der zeitliche Verlauf des Niederschlags, die reelle Evapotranspiration sowie die Differenz beider Ganglinien, die der Grundwasserneubildung unter Modellbedingungen entspricht, dargestellt. Hieraus ergeben sich für die Jahre 1995, 1987 und 1981 relativ nasse Verhältnisse mit verhältnismäßig hohen Grundwasserneubildungsraten und Trockenjahre für 1991, 1985 und 1976, während im Zeitraum von 1992 bis 1994 mittlere Verhältnisse abgebildet werden.

3.7 Hydrogeologie

Die hydrogeologischen Verhältnisse in Darmstadt werden maßgeblich durch die Tektonik des Oberrheingrabens bestimmt. Es lassen sich auf dieser Basis die in Kap. 3.4 beschriebenen drei Bereiche abgrenzen: die quartären Sedimente westlich der Hauptverwerfung des Oberrheingrabens, das kristalline Grundgebirge im Südosten und die Gesteine des Rotliegenden im Nordosten. Größere fließende Gewässer fehlen im Stadtzentrum, die Seen und Teiche wurden zum größten Teil künstlich angelegt. So wurde bereits Mitte des 16. Jahrhunderts der Woog als Wasserreservoir und Fischgewässer aufgestaut.

3.7.1 Hydrogeologische Übersicht

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Stadtgebiet lassen sich anhand eines EW-orientierten Profilschnittes modellhaft beschreiben. Im Osten zeigt der Schnitt den Hauptabbruch des Oberrheingrabens, der als Schollenmosaik mit steil nach Nordwesten einfallenden Verwerfungen ausgebildet ist. Das stark zerklüftete kristalline Grundgebirge, in dem die Wasserwegsamkeit maßgeblich durch die Raumstellung, Geometrie und Häufigkeit der hydraulisch kommunizierenden Klüfte gesteuert wird, wurde in Bohrungen zur Baugrunderkundung im Stadtzentrum (Nähe Luisenplatz, L 23) in einer Tiefe von ca. 30 m unter Geländeoberkante angetroffen. Überlagert werden die kristallinen Gesteine in diesem Bereich von Schollen des Rotliegenden. Die Grundwasserstände bewegten sich hier bei 123 bis 126 m ü. NN und fallen mit der nach Nordwesten abtauchenden Oberkante des kristallinen Grundgebirges in größere Tiefen ab.

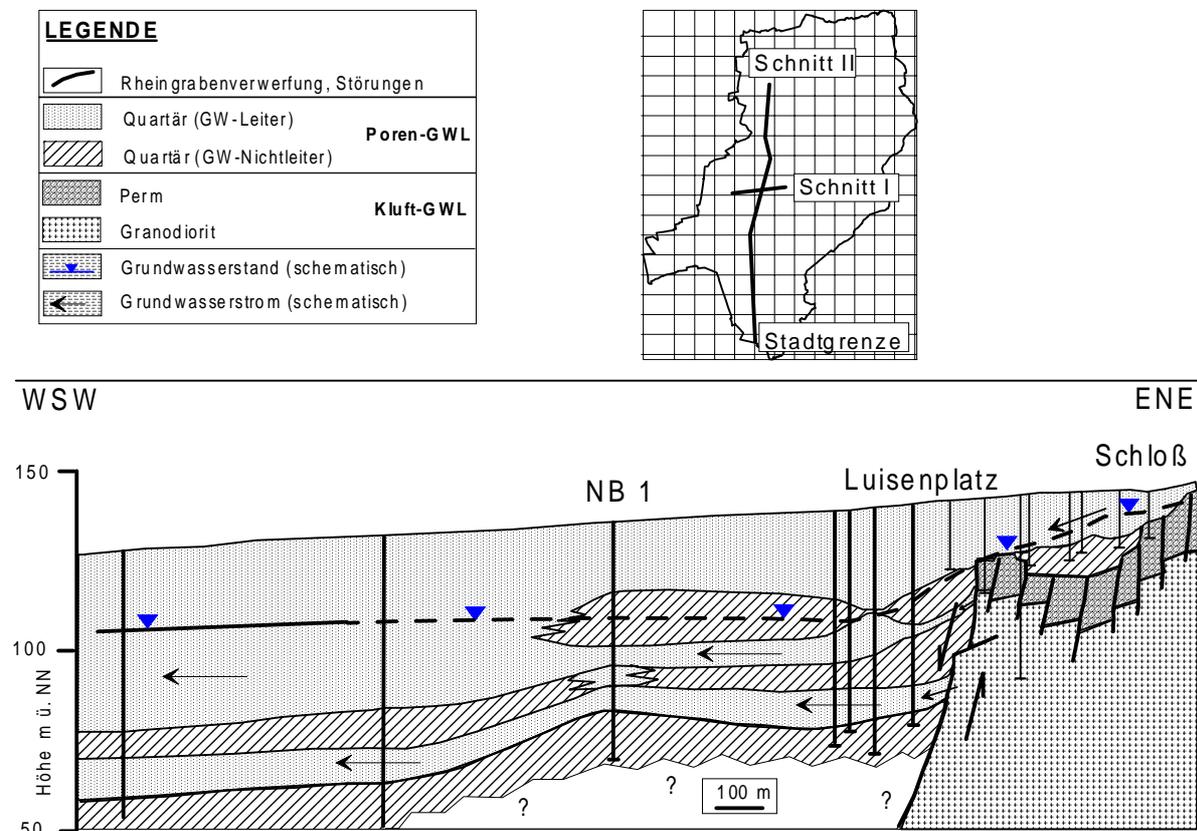


Abb. 3.12: Hydrogeologischer Modellschnitt I und Schnittführungen

An Brunnen NB 1 wurden Flurabstände von ca. 30 m gemessen. Der Brunnen ist im unteren Aquiferstockwerk mit gespanntem Grundwasser von ca. 40 bis 50 m unter GOK verfiltert. Das obere Stockwerk wird durch einen mächtigen Ton-Schluff-Horizont geteilt, der hier in einer Tiefe von 20 bis 35 m unter GOK erbohrt wurde. Nach Süden keilt der Tonhorizont aus, nach Norden hin wird er mächtiger und bildet die Basis eines oberen Aquiferstockwerkes.

Im Übergangsbereich vom Kluftgrundwasserleiter des Granodiorites zum Porengrundwasserleiter der quartären Ablagerungen des Oberrheingrabens sinkt der Grundwasserspiegel sprunghaft ab. Man spricht hier auch von einem "unterirdischen Wasserfall". Am Luisenplatz (L 23) geht der geringe Flurabstand im kristallinen Grundgebirge von 3 bis 4 m mit dem Übergang zum Oberrheingraben in größere Flurabstände von 10 bis 15 m über. Es zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Höhenlage der einzelnen Schollen und dem Verlauf der Piezometerhöhen. Auffällig ist hier das lokal sehr hohe Gefälle der Grundwasseroberfläche (Abb. 3.12 u. 3.13). Sie zeichnet den Verlauf des Rheingrabenabbruchs mit Druckpotentialsprüngen zwischen einzelnen Schollen von bis zu 5 m nach.

Bei den Baugrundbohrungen im Bereich des Marktplatzes (Stadtmitte, L 26) wurde in den südlichen Aufschlüssen Granodiorit erbohrt, während nördlich im Bereich des Schlosses ein Schollenmosaik aus Gesteinen des Rotliegenden über Granodiorit vorliegt. Die Grundwasserstände liegen bei rd. 138 m ü. NN im Bereich des Marktplatzes und bei 134 m ü. NN nördlich des Schlosses. Das Grundwasser fließt im zentralen Stadtbereich von Südosten nach Nordwesten.

Im Rahmen der Baugrunderkundung für den Neubau des Staatstheaters (L 25) wurde die im Baugebiet etwa in NS-Richtung verlaufende Hauptverwerfung des Oberrheingrabens angetroffen. Der östliche Bereich des Gebäudes ist auf kristallinem Grundgebirge gegründet. Im westlichen Areal erfolgte die Gründung in die quartären Lockergesteine des Oberrheingrabens. Das kristalline Grundgebirge taucht hier mit einem Winkel von ca. 60° und flacher in westlicher bis südwestlicher Richtung ab (MÜLLER & PRINZ 1967). In einer rd. 60 m tiefen Baugrundbohrung wurden ca. ab 37 m unter GOK Sedimente des Rotliegenden, bestehend aus Kalksteinen, Tonsteinen und Arkosen, angetroffen. In einer Tiefe von 58 m erreichte der Aufschluß zerklüfteten Granodiorit des kristallinen Grundgebirges. Im Granodiorit östlich der Störung wurde das Grundwasser in einem Schurf bei 139 m über NN erreicht und fällt nach Westen mit den Staffelbrüchen im kristallinen Grundgebirge in größere Tiefen ab. Schon 10 m westlich der Ausstrichlinie des Grundgebirges wurde ein Wasserspiegel von etwa 10 m unter GOK (ca. 132 m ü. NN) gemessen, der in einer Bohrung 30 m westlich des Ausstrichs auf 24 m unter GOK (118,5 m ü. NN) sank. Das Grundwasser fließt nach Westen auf der abtauchenden Oberkante des Granodiorits in wesentlich tiefere Niveaus.

3.7.2 Aufbau des Porengrundwasserleiters und Stockwerksgliederung

Während in der Nähe des Grabenabbruchs keine eindeutige Gliederung der Aquifere erkennbar ist (Abb. 3.12), zeigt der etwa 1 - 2 km westlich der Verwerfungslinie in NS-Richtung verlaufende Schnitt II eine partielle Unterteilung in verschiedene Aquiferstockwerke (Abb. 3.14). Die Informationen im südlichen Bereich bei Eberstadt dokumentieren eine Gliederung in drei Grundwasserleiter. Diese Ergebnisse stammen von MIKAT (1998); hier sind auch weiterführende Informationen zum westlich des Untersuchungsgebietes sich erstreckenden Bereich aufgeführt.

Weiter nördlich bei NB 5, NB 19 und TB 21 keilt der obere Trennhorizont aus und es liegt ein oberes Grundwasserstockwerk bis 60 m u. Gel. sowie ein tieferer Aquifer von 70 bis 90 m u. Gel. vor.

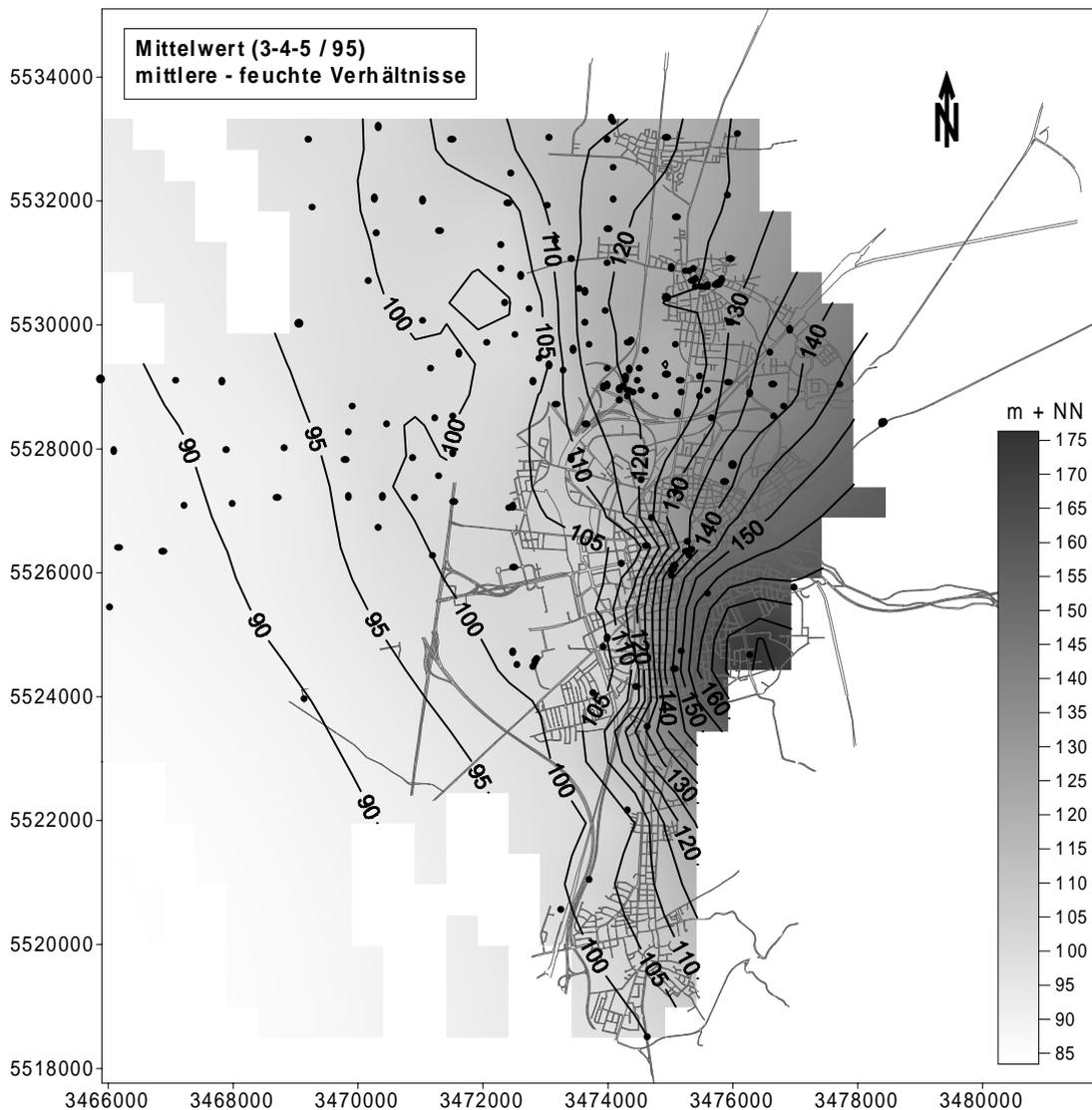


Abb. 3.13: Grundwassergleichenplan ohne Berücksichtigung der Tektonik und Geologie

Im Abschnitt zwischen Darmstadt-Zentrum und Arheilgen (NB 1 bis M 8b) wird die Basis des oberen Grundwasserleiters bei 10 - 20 m u. Gel. erreicht und ein geringmächtiger grundwasserführender Horizont zwischen 20 und 40 m u. Gel. erschlossen. In diesem Bereich herrschen oberflächennah anstehende Tone und Schluffe vor (vgl. JUSTEN 1999, HECKWOLF 1999).

Die Verhältnisse im tieferen zwischen NB 1, NB 2 und NB 3 erbohrten Aquifer sind nicht eindeutig zu klären. Im hydrogeologischen Modellschnitt II ist in diesem Bereich zwischen 35 und 60 m u. Gel. ein zusammenhängender Kies-Sand Horizont eingetragen, der zwar erbohrt wurde, dessen hydraulische Kommunikation mit dem oberen Grundwasserleiter jedoch aufgrund unterschiedlicher geochemischer Verhältnisse in Frage steht (Kap. 9). Die Piezometerhöhen liegen hier für beide Stockwerke 1998 etwa im gleichen Bereich von 104,7 bis 105,4 m ü. NN. Der detaillierte Aufbau und weitere Schnittführungen im zentralen Bereich von Darmstadt sind in GREIFENHAGEN (1997) dokumentiert.

Allgemein läßt sich feststellen, daß im Süden des Untersuchungsgebietes im Quartär ein mächtiges tiefer liegendes Grundwasserstockwerk und im Norden ein oberflächennaher geringmächtiger Aquifer

auftritt, der aus einer dem Grabenabbruch vorgelagerten höheren Randscholle besteht (Kap. 3.5). Zwischen NB 6 und NB 3 ist eine Störung, die in ihrer Orientierung einer Verlängerung der Gräfenhäuser-Bruchzone bis zur Grabenrandverwerfung entspricht, zu vermuten (Abb. 3.14). Die Stockwerksgliederung zeigt im Zentrum Darmstadts ein relativ uneinheitliches Bild, einzelne Horizonte verzahnen sich, keilen aus und gehen ineinander über. Diese Verhältnisse werden durch die Grabentektonik im Bereich der Störungslinie beeinflusst, die stets bei der Modellbetrachtung, wie z. B. in Schnitt II, berücksichtigt werden muß.

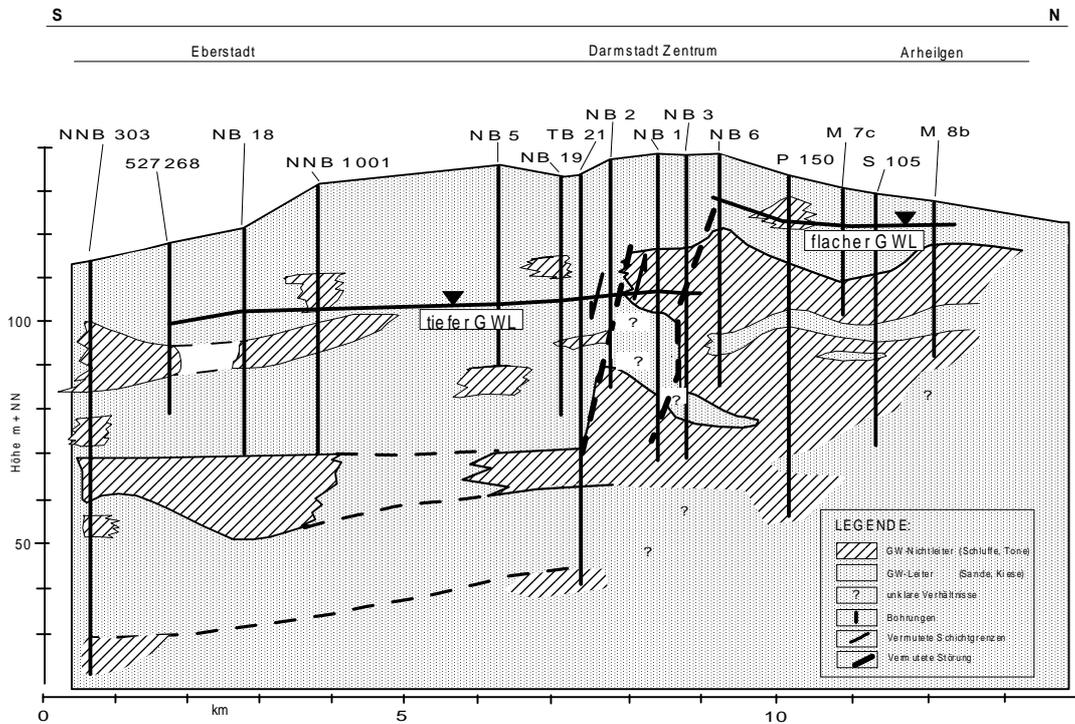


Abb. 3.14: Hydrogeologischer Modellschnitt II in NS-Richtung

3.7.3 Grundwasserentnahmen

Im untersuchten Raum wird Grundwasser zu folgenden Zwecken entnommen:

- Brauchwasser für industrielle und gewerbliche Zwecke
- Beregnung
- Reinigungswasser
- Grundwasserhaltungen
- Trinkwasser (öffentlich und privat)
- Notversorgung (nur im Katastrophenfall)
- Kühlwasser
- Grundwasserwärmepumpen

Es wird im folgenden zwischen drei Entnehmertypen differenziert:

- Öffentliche Wasserversorgung
- Private Entnehmer
 - große industrielle Entnehmer (Anzahl = 2 | einzelne Entnahmerechte > 200.000 m³/a)
 - kleinere private Entnehmer (Anzahl ≈ 20 | einzelne Entnahmerechte ≤ 200.000 m³/a)

Es ist darauf hinzuweisen, daß lediglich die wahren Entnahmen der zwei großen industriellen Entnehmer und der öffentlichen Wasserversorgung bekannt sind. Die Daten der zeitbezogenen industriellen Grundwasserentnahmen dieser Entnehmer entstammen TGU (1996). Von den 20 kleineren privaten Entnehmern sind lediglich die Entnahmerechte als potentielle maximale Entnahmemenge, die nicht der wirklich entnommenen Grundwassermenge entsprechen muß, dokumentiert.

Im gesamten Stadtgebiet liegen die gültigen Wasserrechte der öffentlichen Wasserversorgung bei 14,3 Mio. m³/a und die Rechte privater Entnehmer bei rd. 7,8 Mio. m³/a. Im Jahr 1995 lag die Summe der Entnahmen der zwei größten privaten Entnehmer bei rd. 5,4 Mio. m³/a. Die Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung liegen im Randbereich und außerhalb des Stadtgebietes. Sie haben somit nur eine geringfügige Auswirkung auf das Strömungsbild im Stadtzentrum (der jährliche Wasserverbrauch der Stadt liegt nach STADT DARMSTADT (1997) bei rd. 9,3 Mio. m³).

Die Brunnen der privaten Entnehmer mit den größeren Entnahmemengen liegen im westlichen Randbereich der Stadt. Aus den Entnahmeorganen südlich von Arheilgen wurden 1995 rd. 0,8 Mio. m³/a entnommen, und die Summe der westlich gelegenen Brunnengalerien betrug im gleichen Jahr rd. zwei Mio. m³/a, so daß für den nördlichen Bereich des hier betrachteten 37 km² großen Bilanzraumes - Gesamtbilanzraum Darmstadt Zentrum (Lage s. Abb. 3.5) - eine relativ hohe Grundwasserentnahme von ca. drei Mio. m³/a anzusetzen ist.

Bei drei der 20 weiteren bekannten Entnehmer wird das entnommene Grundwasser lediglich zur Betreuung von Wärmepumpen und als Kühlwasser genutzt. Bei Kühlwasser- sowie Grundwassernutzung zur Wärmegewinnung werden die entnommenen Mengen in der Regel wieder infiltriert und treten in der Bilanz nicht auf. Diese Wassermengen werden temporär dem natürlichen Wasserkreislauf entzogen und wieder eingespeist. Wasserrechte zu dieser Nutzung liegen im Bereich von rd. 50.000 m³/a vor, wobei zu berücksichtigen ist, daß zwei Entnehmer existieren, die Grundwasser als Brauch- und Kühlwasser nutzen und die entsprechende Aufteilung nicht bekannt ist. Die Summe der restlichen 17 wirksamen Entnahmerechte liegt je nach angesetzter Grundwassernutzung (Brauch- oder Kühlwasser) bei 600.000 - 700.000 m³/a.

Aufgrund der vorhandenen Datenlage kann aus den Eintragungen im Wasserbuch lediglich eine Abschätzung der Grundwasserentnahmen anhand der Entnahmerechte resultieren. Diese Abschätzung ergibt im o. g. Bilanzraum von 37 km² für den Zeitraum von 1990 - 1996 eine maximale Entnahme von rd. 3,5 Mio. m³/a (ohne Berücksichtigung der öffentlichen Wasserversorgung). Die Entnehmer sind entsprechend Abb. 3.15 über das Stadtgebiet verteilt. Die Notbrunnen werden normalerweise nur zu Wartungszwecken betrieben und hierbei nicht berücksichtigt.

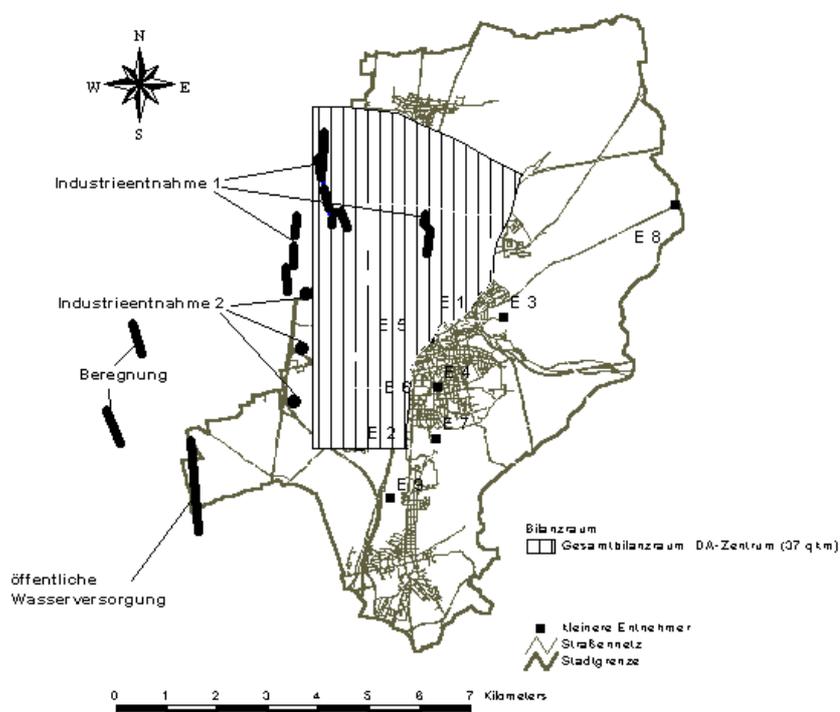


Abb. 3.15: Lage der Grundwasserentnahmen und Gesamtbilanzraum Darmstadt-Zentrum

3.7.4 Hydrogeologische Kennwerte

Die räumlichen Verteilungen der hydraulischen Kennwerte Speicherkoeffizient und Durchlässigkeitsbeiwert spiegeln die geologischen und tektonischen Verhältnisse in der Nähe der östlichen Grabenrandverwerfung wider. Im Festgesteinsaquifer des Kristallins und Rotliegenden sind die Durchlässigkeiten um ein bis zwei 10er Potenzen niedriger als im westlich sich anschließenden Porengrundwasserleiter. Allgemein läßt sich feststellen, daß hier im Bereich der in NS-Richtung verlaufenden Verwerfung höhere Ergiebigkeiten erzielt werden als im Umfeld der erzgebirgisch streichenden Störungszone.

Das räumliche Verteilungsmuster der Durchlässigkeitsbeiwerte zeigt im Bereich der rheinisch streichenden Störungslinie ein Maximum, das durch einzelne sehr ergiebige, dem Verwerfungslinament aufsitzende Brunnen verursacht wird (GREIFENHAGEN 1997). Nach Osten nehmen die Durchlässigkeiten ab, wobei durch einzelne Brunnen im Bereich von Störungen und Gängen höhere Ergiebigkeiten erzielt werden. Vom Stadtzentrum ausgehend nehmen die Ergiebigkeiten der Brunnen nach Westen zu und stabilisieren sich auf einem höheren Niveau im Bereich des Hessischen Riedes. In nördliche Richtung hingegen sind die Ergiebigkeiten im Bereich des Grabenrandes wesentlich geringer. Die Ergebnisse von Pumpversuchsauswertungen entstammen GREIFENHAGEN (1997). Die aus Modellanpassungen ermittelten Kennwerte wurden aus JUSTEN (1999) entnommen.