

3. Senkungen in Lüneburg

Frank Sirocko

Inhalt:

Senkungsschäden des 20. Jahrhunderts	1
Erdfälle	20
Zeitliche Entwicklung der Senkungen	23
Horizontale Verschiebungen und Pressungen	32
Ursachen der Senkungen	38
Mögliche Ursachen der Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig	39

Senkungsschäden des 20. Jahrhunderts

Von Anfang an begleiten Senkungserscheinungen als Schattenseite die Soleförderung und stellen gemeinsam mit häufigen Erdfällen ein gravierendes Problem für jegliche Stadtplanung dar, das bis heute nicht gelöst ist. Zu welchem Anteil sie direkt auf die Salzförderung zurückgehen oder ob es auch natürliche Prozesse gab und gibt, die an dem immer noch aufsteigenden Salzstock zu Senkungen und Erdfällen führen, wird im Folgenden erstmals ausführlich dargestellt. Für die Stadt ist diese Frage von großer Wichtigkeit, da noch immer zahlreiche Häuser im Senkungsgebiet Schäden zeigen oder gar vom Abriss bedroht sind.

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist die Salzförderung durch die Saline dann allerdings genau dokumentiert. Während der Auflassung des Salinengeländes, die dem Konkurs im Jahr 1980 folgte, wurde bei einer Bestandssichtung der Akten eine Liste mit den Fördermengen seit 1850 gefunden. Diese Liste erscheint in Abb. 3.1 erstmals im vorliegenden Kapitel als Diagramm. Sie ist jedoch durch das Bergamt bis heute nicht offiziell autorisiert worden, sondern stammt aus privaten Unterlagen. Offizielle Zahlen hat das Bergamt lediglich für die Zeit 1960 – 2005 bereitgestellt.

Die Zusammenschau aller verfügbaren Daten zur Soleentnahme belegt einen kontinuierlichen Anstieg der Soleförderung seit 1850 von etwa 12.000 Tonnen bis auf 30.000 Tonnen vor dem Ersten Weltkrieg. In den Kriegsjahren und der nachfolgenden

Weltwirtschaftskrise bleibt die Soleförderung gering. 1923 war die Saline als Saline AG (Mehrheit im Stadtbesitz) quasi in städtisches Eigentum übergegangen. Bis 1930 wurde die Produktion kontinuierlich wieder auf 30.000 Tonnen Salz hochgefahren, und stieg dann vor dem Zweiten Weltkrieg nochmals rapide auf bis zu 37.000 Tonnen pro Jahr (Abb. 3.1). In den erneuten Kriegs- und Nachkriegsjahren erfolgte wieder ein starker Einbruch, dann kletterten ab 1950 erneut die Produktionszahlen auf bis zu 35.000 Tonnen.

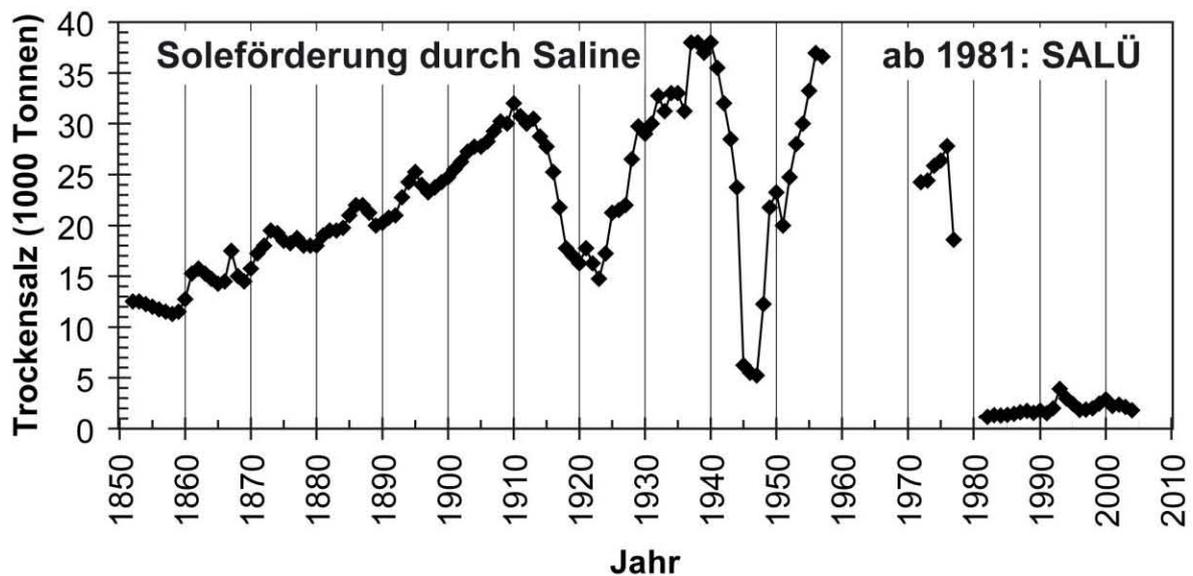


Abb. 3.1: Förderraten der Saline im 20. Jahrhundert, aus Akten des aufgelassenen Salinenkontors, Quelle: privat.

Ein Vergleich der Senkungsschäden mit der Förderzeitreihe zeigt, dass die Förderungen bei 30.000 Tonnen offensichtlich viel zu hoch waren. Die Senkung wurde ab den frühen 30iger Jahren im Stadtbild extrem sichtbar. Am auffälligsten war der Zusammenbruch des Hauses Frommestraße 3 (Abb. 3.2), zu dessen Nachbarhaus das heute noch bekannte „Tor zur Unterwelt“ gehörte (Abb. 3.22). Dieses Tor wird in einem späteren Teil des Kapitels noch eine große Rolle spielen. Auffällig ist, dass dieses Haus nicht einfach durch Senkung verkippt ist, sondern zusammengepresst wurde. Das sieht man schon am Schadbild, wenn man z.B. die Verschiebungsrichtung des Fenstertraufs anschaut. Dieses Haus ist durch eine Pressung zerstört worden. Passt das in das Bild der Senkung? Diese Frage wird uns durch dieses gesamte Kapitel begleiten. Zweifelsohne gibt es im Bereich der „Frommestraße“ heute einen deutlichen

Absenkungstrichter, und in 2009 erreichen die Senkungsraten hier plötzlich extrem hohe Werte. Aber auch das „Tor zur Unterwelt“ ist zusammengepresst worden, d.h. durch laterale Verschiebungen.

Von solchen Lateralverschiebungen sind auch die großen Sakralbauten betroffen. Die Michaeliskirche hat sich durch Horizontalverschiebung zwischen 1895 und 1949 immerhin 45 cm in nordwestliche Richtung bewegt, wodurch die Rundpfeiler des Schiffes 70 cm aus dem Lot geraten sind. Gehen die Lateralverschiebungen und die Senkungen auf die gleiche Ursache zurück? Eine Antwort auf diese Frage wird mit Abb. 3.19 und folgenden Abbildungen gegeben werden können.

Nach dem Krieg setzten Senkungsbewegungen im gesamten Altstadtgebiet vehement ein und von 1955 an riss man viele gefährdete Häuser in der Altstadt rigoros ab. Noch bis in die 1970er Jahren wurden insgesamt über 200 mittelalterliche Bauten im Altstadtgebiet einfach abgebrochen (Abb. 3.5). Viele dieser abgebrochenen Häuser wurden von dem Lüneburger Maler Adolf Brebbermann gezeichnet und sind auch in den Abrisskalendern des ALA (Arbeitskreis Lüneburger Altstadt) dargestellt (Abb. 3.3, 3.4).

Spätestens mit Beginn der 60er Jahre begann sich aber deutlicher Unmut in der Bevölkerung zu regen, da mittlerweile einem Großteil der Häuser in der Altstadt der Zusammenbruch drohte.

Die Salinenbetreiber haben bis zuletzt eine Verantwortung für diese Zerstörungen nie offiziell zugegeben. Aufsichts- und Genehmigungsbehörden veranlassten dann aber doch eine Reduktion der Fördermenge und die Saline stellte ihre traditionelle Soleförderung aus dem Salzspiegel in etwa 40 m Tiefe weitgehend ein. Stattdessen wurde eine Tiefbohrung bis auf 450 m unter den Süzwiesen niedergebracht. In diese Tiefe hat man dann Frischwasser heruntergepumpt, um in der Zeit von 1961 – 1980 eine Kaverne von etwa 40 x 40 x 90 m im Steinsalz auszulaugen (Abb. 3.6). Damit wurde von der Saline indirekt zugegeben, dass die massive Senkung im Altstadtgebiet wohl doch mit der Förderung aus der Oberfläche des Salzstocks in 40 m Tiefe zusammenhänge müsste. Der riesige Hohlraum der Kaverne ist auch heute noch unter den Süzwiesen vorhanden, nun aber mit gesättigter Sole verfüllt und der Schacht ist heute plombiert.



Abb. 3.2: Extreme lokale Senkung: Zusammenbruch der Häuser Frommestraße 2 und 3 im Jahr 1931. Foto aus Pleß & Welke (1959).



Abb. 3.3: Abbrucharbeiten im Altstadtgebiet nach Senkungsschäden. Foto aus Pleß & Welke (1959).

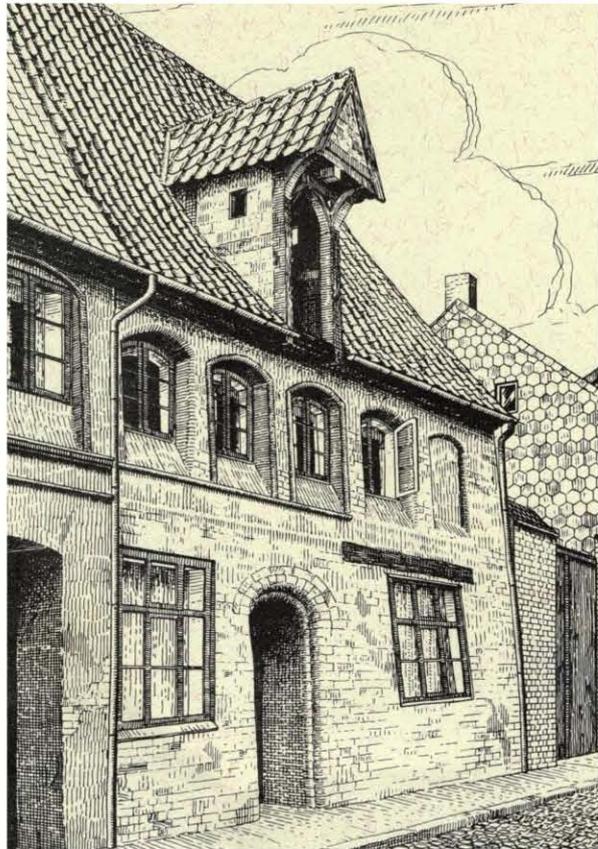


Abb. 3.4: Beispiele abgebrochener Häuser, Zeichnung A. Brebbermann, aus Abrisskalender des ALA (Arbeitskreis Lüneburger Altstadt).

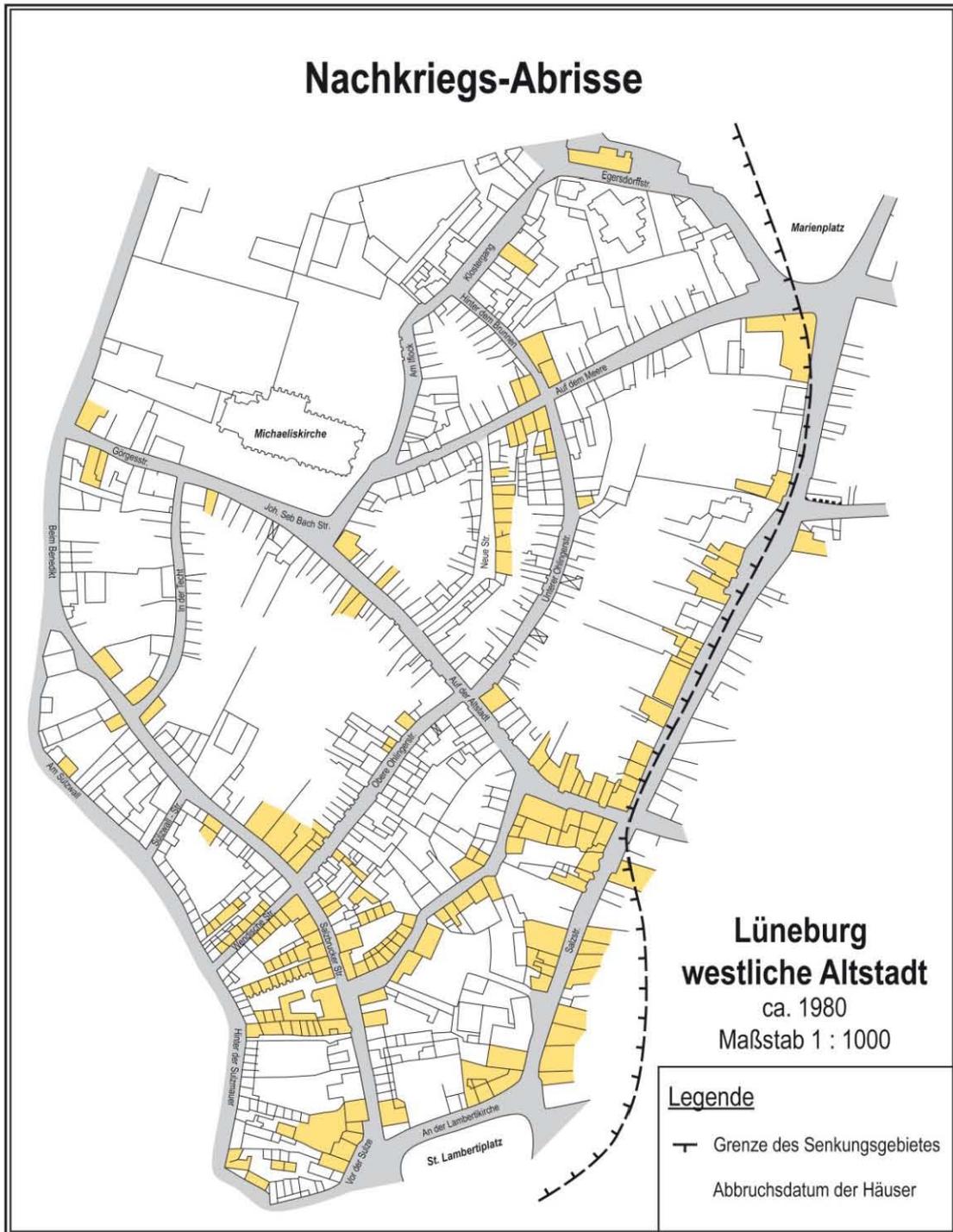


Abb. 3.5: Straßenkarte der Altstadt mit abgebrochenen Häusern, nach Angaben des ALA.

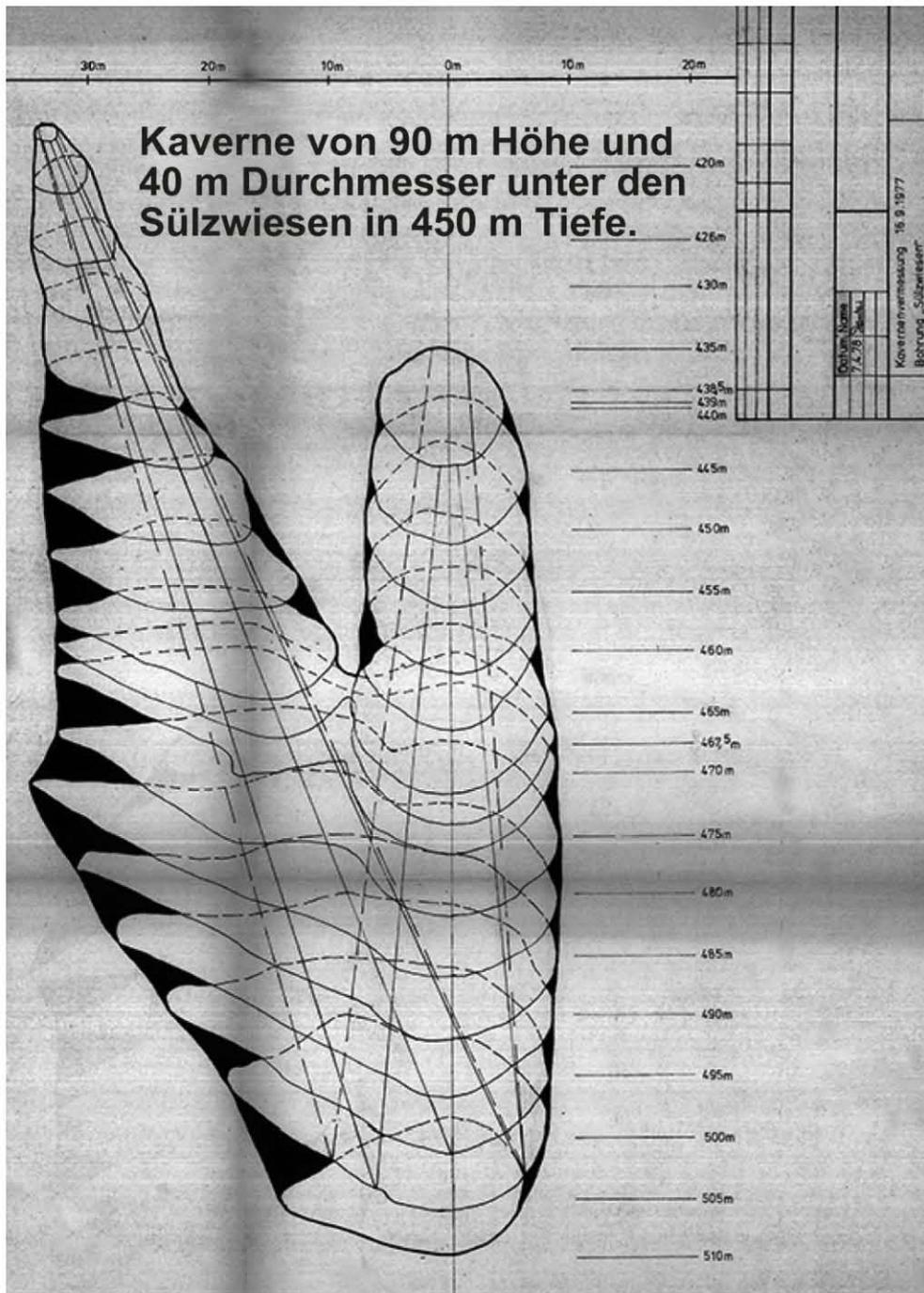


Abb. 3.6: Schemazeichnung der Auslaugungskaverne 450 m unter den Sülzwiesen.

Bevor wir das Thema, Senkung-Pressung später wieder aufnehmen, soll im Folgenden jetzt aber erst einmal der Nachweis geführt werden, ob auch die heute beobachteten Senkungen in Bezug zur Salzentnahme stehen können. Die in Abb. 3.1 dargestellte Zeitreihe der Förderraten gibt die Förderung im Tonnen/Jahr an. Die Senkung verläuft aber in mm/Jahr. Daher muss die Förderungs­masse über die Dichte des Salzes in das Volumen Trockensalzes umgerechnet werden und auf die Auslaugungsfläche bezogen

werden, um dann letztlich die Höhe der Salzsäule zu berechnen, die abgelautet wurde. Wenn die Höhe dieser Salzsäule dem mittleren Wert der Senkung über die gesamte Fläche entspricht, ist die Massenbilanz geschlossen.

In Abb. 3.1 sind die Mengen direkt in Tonnen Trockensalz angegeben. Daten zur Förderung sind aber oftmals in Solevolumen (m^3) angegeben. Beide Werte kann man aber leicht umrechnen, da 1 m^3 einer gesättigten 26%igen Sole nach Eindampfung 304 kg NaCl ergeben. Im nächsten Umrechnungsschritt muss die Trockensalzmasse in das entsprechende Trockensalzvolumen umgerechnet werden. Dabei gilt, dass Salz eine Dichte von 2,15 g/ccm oder $2,150 \text{ t/m}^3$ hat. Dividiert man das Trockensalzgewicht in Tonnen durch die Dichte, erhält man das entnommene Salzvolumen in Kubikmetern. Im letzten Schritt wird nun das Volumen durch die Fläche der Senkung dividiert, um die zugehörige Senkungsrate in m/Jahr bzw. mm/Jahr zu bestimmen. Die Fläche der Ablaugung entspricht etwa 1 km^2 (vergleiche hierzu Abb. 1.9 in Kapitel 1: das Norddeutsche Becken).

Für die Berechnung einer Massenbilanz für die heutige Salzentnahme benutzen wir einen Mittelwert der Fördermenge des SALÜ, welches zwischen 1982 und 2004 im Mittel 6513 m^3 Sole, bzw. 1987 Tonnen Trockensalz entnommen hat. Diese Angaben wurde vom SALÜ und dem Bergamt zur Verfügung gestellt. 1987 Tonnen Salz entspricht etwa einem Volumen von $10 \times 10 \times 10 \text{ m}$ (1000 m^3), was verteilt auf die gesamte Senkungsfläche des Altstadtgebietes von 1 km^2 einer mittleren Senkung von $0,00092 \text{ m/Jahr}$, oder gerundet 1 mm/Jahr , entspricht. Dieser Wert kommt der tatsächlich gemessenen mittleren Senkung sehr nahe (siehe Abb. 3.20). Dies kann Zufall sein, allerdings ist die Übereinstimmung der beiden völlig unabhängigen Größen schon sehr auffällig.

Zur Bilanzierung der Salzförderung über die gesamten letzten 60 Jahre werden die Daten aus der Abb. 3.1 zugrunde gelegt - und mit dem Mittelwert der mit dem Nivelliergerät direkt gemessenen Senkung verglichen. Da die Anzahl der pro Jahr vermessenen Punkte jedes Mal variieren kann, sind diese Werte zwar ein überzeugender Anhaltspunkt, aber statistisch nicht ohne weiteres repräsentativ. In der Abb. 3.7 ist die oben aus der Salzförderung errechnete theoretische Senkung in Rot dargestellt, die Jahresmittel der praktisch gemessenen Senkung in Schwarz. Beide Kurven zeigen innerhalb der Fehlergrenzen sehr ähnliche Absolutbeträge und auch der Verlauf der Kurven ähneln einander signifikant. Die Zeit der Kavernenauslaugung ist

ausgeblendet, da in diesen Jahren das Salz ja aus der Tiefe des Salzstockes gekommen ist und mit der Senkung nicht in Bezug stehen kann. Die Übereinstimmung der absoluten Senkungsbeträge und die große Ähnlichkeit der Kurven, zeigen, dass wirklich die Soleentnahme der entscheidende Faktor für das Senkungsgeschehen in der Zeit 1950-1980 war, d.h. damit auch für die Zerstörung der abgebrochenen Häuser (Abb. 3.5) verantwortlich war.

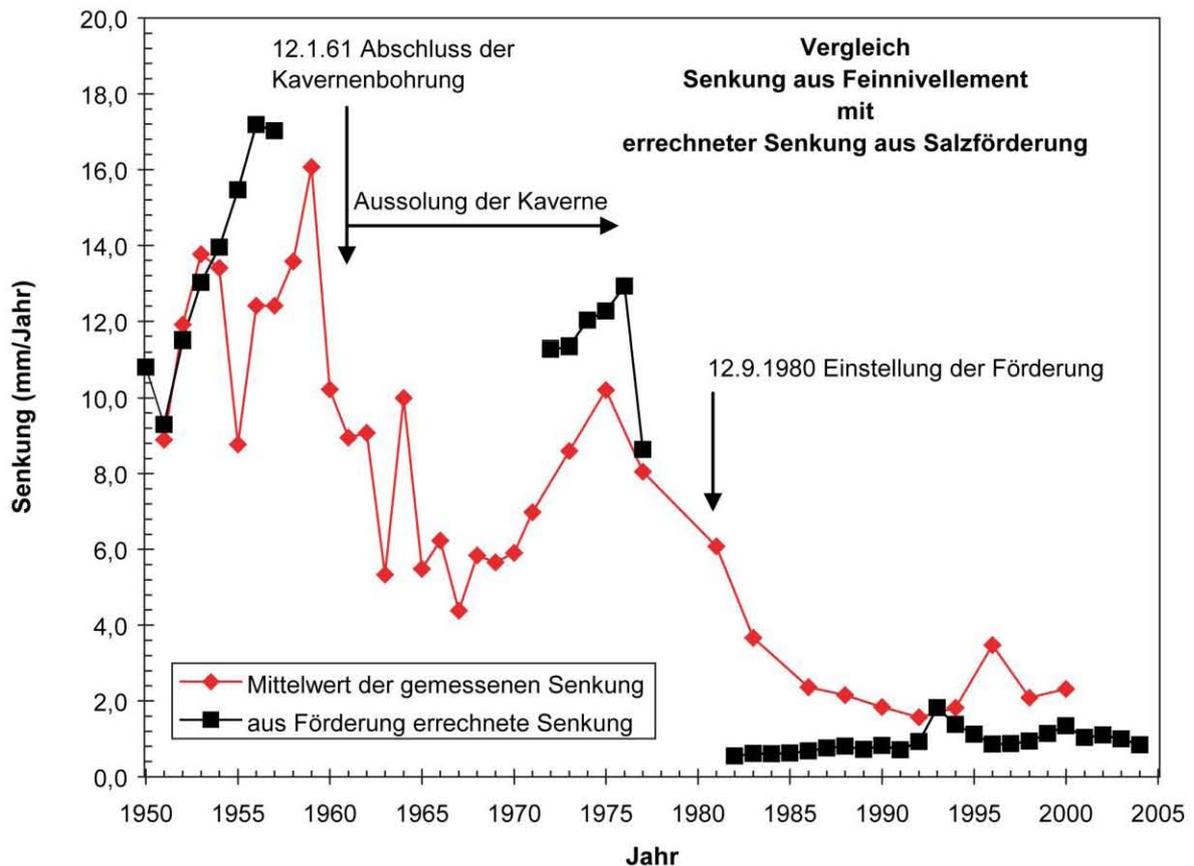


Abb. 3.7: Mittelwerte der geodätisch gemessenen jährlichen Senkungsbeträge seit 1950 im Vergleich zu errechneten Senkungsbeträgen aus der Soleförderung.

Zur weiteren Klärung der Ursachen der Senkung werden wir uns nachfolgend erst einmal mit dem Prozess der Senkung aus geologischer Sicht beschäftigen müssen und betrachten dafür zwei Kernbohrungen, die am Ochtmisser Kirchsteig und auf dem Michaelisfriedhof abgeteuft wurden.

Diese Bohrungen wurden von der Stadtverwaltung in Auftrag gegeben, um herauszufinden, ob es unter dem Senkungszentrum am Ochtmisser Kirchsteig einen

großen Hohlraum gibt und für die anliegenden Wohngebäude Gefahr des Einsturzes besteht. Die beiden Bohrungen sind bis auf 90 m Tiefe abgeteuft worden. Der Bohrpunkt MF1 liegt auf dem Michaelisfriedhof, der Kern OK1 stammt vom Ochtmisser Kirchsteig. Beide Kerne lagern im Kernarchiv des Instituts für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg Universität in Mainz. Die Kernpositionen sind der Karte Abb. 3.28 zu entnehmen. Für eine Abschätzung der Ursache der Senkung wird zuerst einmal die Schichtfolge in den Bohrungen betrachtet, um zu sehen, wo es im Salz oder Gips Strukturen gibt, die eventuell die Senkungen erklären könnten.

Die lithologischen Profile der zwei Bohrkerne werden in Abb. 3.8 einander gegenübergestellt. Dabei ist eine grundsätzliche Ähnlichkeit in der Abfolge der Gesteinsschichten zu erkennen. Die Gesteine in beiden Bohrungen wurden nicht radiometrisch datiert; die Altersangaben schließen sich vielmehr dem bekannten Ablauf der Eiszeiten in Norddeutschland an (vgl. Kapitel 1). Das erste Foto zeigt in einer Tiefe von 2,2 m einen Geschiebemergel (Moränenschutt einer Eiszeit) in grünlicher Farbe mit verschiedenen nordischen Geschieben in Kiesgröße. Der gleiche Geschiebemergel hat in 5,7 m Tiefe rotbraune Farbe und enthält mehr grobkörnige Kiese. Da der letzte Eisvorstoß in den Lüneburger Raum im Warthe-Stadium der Saale Eiszeit stattgefunden hat (ca. 150.000 J.v.h.), ist dies aller Wahrscheinlichkeit nach eine Warthe Grundmoräne.

Bei 11 m findet sich feinkörniger, gut sortierter Sand, vermutlich Flugsand des Warthe Stadiums der Saale Eiszeit. Dieses Sediment ist typisch für den Bereich unmittelbar vor Gletschern und durch kaltzeitliche Fallwinde und wurde von den mächtigen eiszeitlichen Inlandgletschern abgelagert. Die im Vergleich zu anderen Vorkommen dieses Sedimenttyps hohe Mächtigkeit der Flugsande zeigt, dass es wohl schon vor 150.000 Jahren eine Vertiefung im Lüneburger Raum gegeben hat, in der sich Flugsande fangen konnten. Unter dem Flugsand bei 17,3 m steht wieder ein Geschiebemergel an, der vermutlich in das Drenthe-Stadium der Saale Eiszeit gehört (ca. 165.000 J.v.h.).

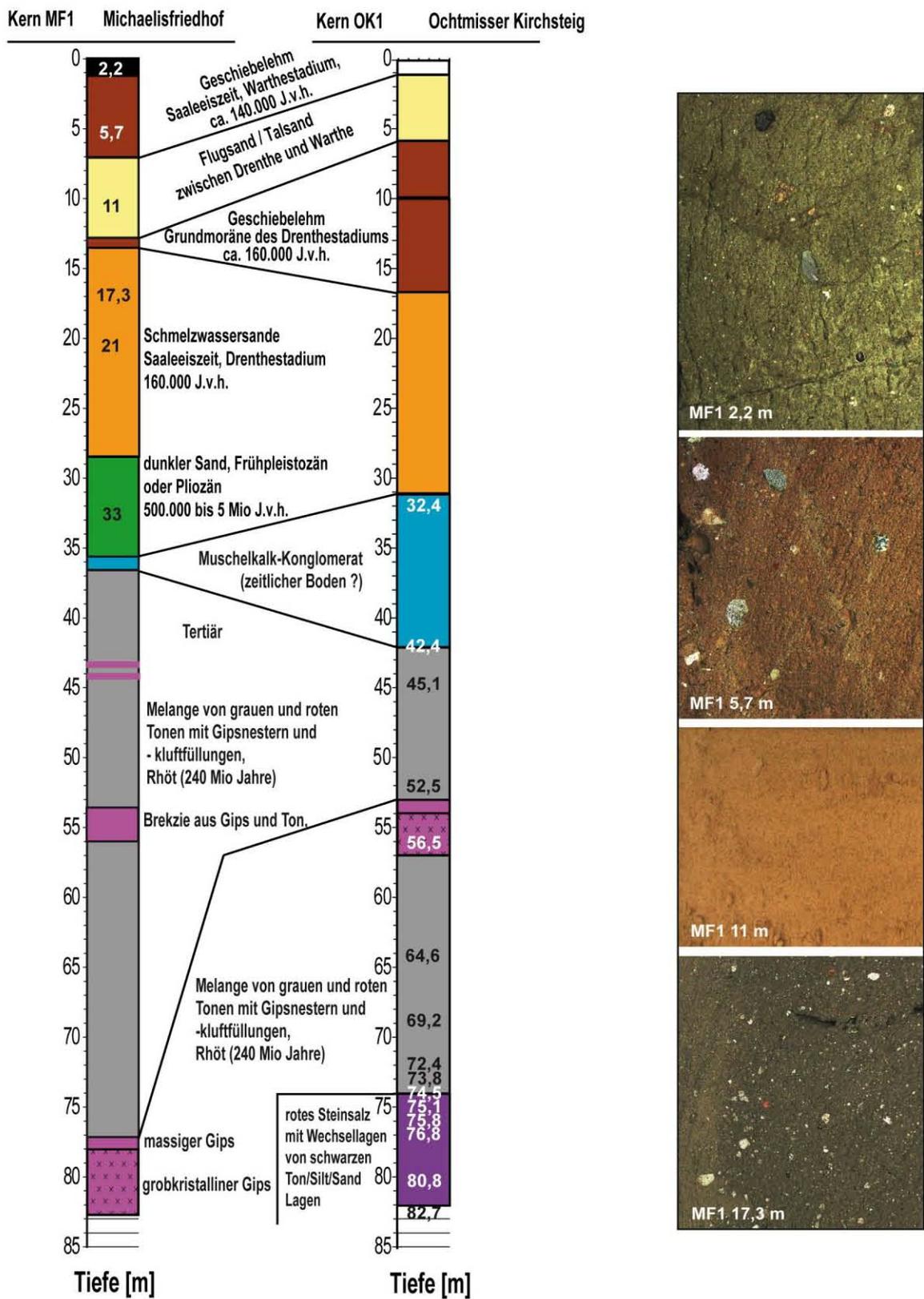
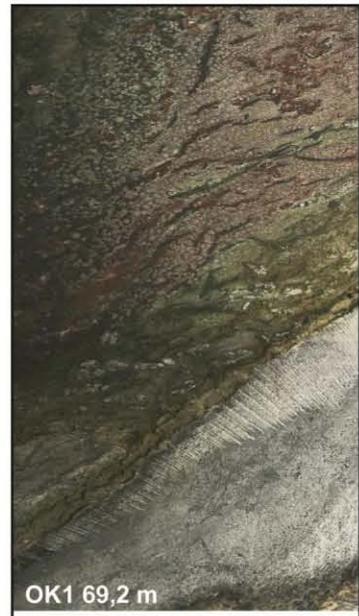
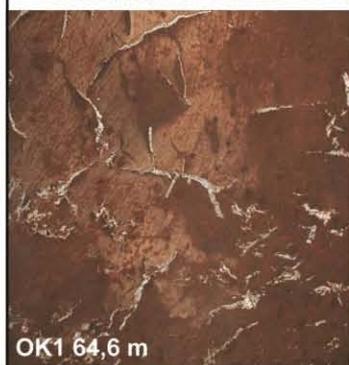


Abb. 3.8: Lithologisches Profil von Bohrungen am Ochtmisser Kirchsteig (OK1) und auf dem Michaelisfriedhof (MF1)



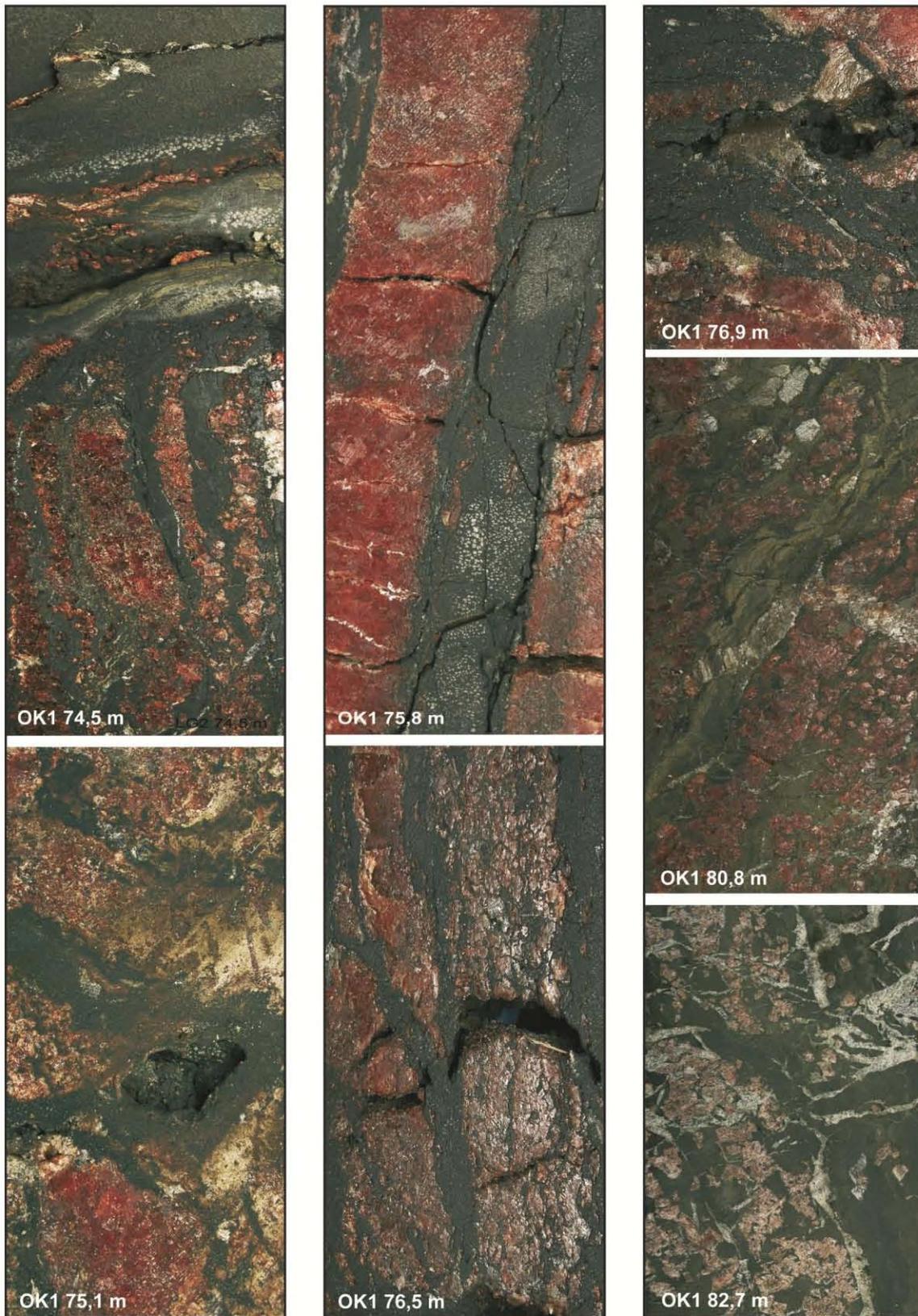


Abb. 3.9: Fotos der Lockersedimente und Gesteine in den Kernbohrungen Ochtmisser Kirchsteig (OK1) und Michaelisfriedhof (MF1).

Mächtige Schmelzwassersande in 14 – 28 m Tiefe sind mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls in das Drenthestadium der Saale Eiszeit zu datieren, welche mächtige Ablagerungen von Moränenmaterial in ganz Norddeutschland hinterlassen hat. Sie könnten aber auch aus der Elster Eiszeit vor 400.000 Jahren stammen. Deutlich dunklere Sande mit hohen Anteilen von organischem Kohlenstoff bei 33 m sind älter, da sie Pollen von Sequoia enthalten. Diese Bäume gab es im frühen Pleistozän und späten Tertiär, womit die Schichten zwischen 500.000 und 5 Mio. Jahre alt wären. Damit sind die Ablagerungen des Quartärs, d.h. der letzten Eiszeiten, insgesamt 35 m mächtig; ein Wert, der für Norddeutschland durchaus normal ist.

An der Basis dieser Sande finden sich in Kern MF1 Bruchstücke eines Kalkgesteins, das in Kern OK1 bei 32,4 m Tiefe gut erhalten ist. Hier liegen etwa 10 m eines sedimentären Konglomerats, d.h. gerundete Bruchstücke von Muschelkalk, einem typischen Gestein aus der oberen Trias. Der poröse Muschelkalk steht aber nicht als feste Bank an. Dieses Sediment könnte der Boden einer alten Landoberfläche aus dem Tertiär gewesen sein. An der Basis dieses Muschelkalkbodens gibt es im Kern OK1 Hohlräume von einigen Zentimetern Durchmesser, die offensichtlich als Fließbahnen für Grundwasser gedient haben (42,4 m). Das heutige Niederschlagswasser kann damit durch die lockeren Sedimente des Quartärs bis tief in das Muschelkalkstockwerk zirkulieren. Unter dieser Schicht finden sich grüne Tone und Feinsande (45,1 m), die tektonisch stark verwürgt sind. Darunter folgt erst eine Lage von massigem Gips (52,5 m), dann eine mit kristallinem Gips mit sehr hoher Porosität an der Basis (56,5 m). In dem porösen Gips kann wiederum Niederschlagswasser weiter leicht in die Tiefe abfließen. Diese beiden Schichten befinden sich in Kern OK1 bei 80 m. Oberflächenwasser kann damit von der Basis der quartären Lockersedimente ziemlich schnell in die Tiefe gelangen.

Unter dem kristallinen Gips liegen rote Tone mit vielen Zerrungsklüften, die durch Gipsausfällungen vollständig wieder verheilt sind (64, 6 m). Grünlich-graue Tone, teilweise durchsetzt mit Gipskristallen, kennzeichnen die Schichten zwischen 57 – 74 m im Kern MF1 und gehören vermutlich in die Epoche des Keupers. Bei 74,8 m kommt es zum Kontakt mit unterlagernden Salzen. Die Kontaktfuge ist vielfach zerschert und besteht aus einer Melange von Ton, Siltlagen, Salz und Gips. Das Salz ist deutlich rot gefärbt. Daher handelt es sich vermutlich um Rötosalze aus dem oberen Buntsandstein. Auffällig ist die Wechsellagerung mit grauen Schichten aus Ton, Silt und Feinsand; ein typisches Kennzeichen der Rötosalze. In dieser Folge des oberen Buntsandsteins waren

die Salzstöcke im Norddeutschen Becken schon im Aufstieg begriffen und sind teilweise an die Oberfläche durchgebrochen (vergl. hierzu Abb. 1.7 in Kapitel 1: Norddeutsches Becken). Salz und Gips wurden erst gelöst und sind dann in den Sümpfen der Randsenken wieder auskristallisiert (siehe auch die Schemazeichnung Abb. 1.8 in Kapitel 1). Von daher dürften die Salze unterhalb von 74 m in OK1 in das Röt zu stellen sein. Ihre Mächtigkeit kann bis zu 200 m betragen und oft gibt es durch sogenannte Salzfinger eine Verbindung mit dem eigentlichen Zechsteinsalz des inneren Salzstocks. Große Lösungsporen – wie etwa in 75,6, 76,5 und 76,9 m Tiefe – weisen auf eine gute Löslichkeit dieses Salzes hin. Damit kann Wasser in den dunklen Silt/Sandlagen in das Salz eindringen und löst es außerordentlich rasch. An der Basis des Kerns vom Ochtmisser Kirchsteig ist die Wechsellagerung von Salz und Silt/Sand kaum noch zu erkennen. Die Silt/Sandlagen sind nicht mehr in Schichten strukturiert, wie noch bei 75,8 m, sondern verlieren den Zusammenhalt und zeigen sich als unregelmäßige Anreicherungen von dunklem Sediment. Dazwischen kristallisiert rosa-farbiges Steinsalz neu aus, vermutlich in den zusammengesackten Lösungsporen, denn die gibt es in dieser Tiefe nicht mehr. Unter dem Ochtmisser Kirchsteig findet damit nur bei 74 – 80 m eine extrem starke Lösung von Salz statt, da das Wasser auf den Siltlagen in das Salz eindringt und der Lösungsvorgang damit in vielen kleinen Lösungsporen im Salz selber stattfindet und nicht nur auf seiner Oberfläche wie dies bei massivem Steinsalz der Fall ist.

Diese Wechsellagerung von Salz und Silt/Sand ist vermutlich die entscheidende geologische Besonderheit, die zu den außerordentlich hohen Auslaugungsraten und damit auch oberflächlichen Senkungen an dieser Stelle des Salzstocks führt. In anderen Bereichen, wo massives Steinsalz in Kontakt mit Grundwasser kommt, wird zwar auch abgelautet, aber nicht mit der Geschwindigkeit wie unter dem Ochtmisser Kirchsteig, wo die Senkungsraten etwa 30fach höher sind als an jeder anderen bekannten Stelle des Salzstocks, da die Kontaktfläche der senkrecht stehenden Wechsellagerungen sehr viel größer als auf dem Salzspiegel (vergl. Abb. 3.19 – 3.21).

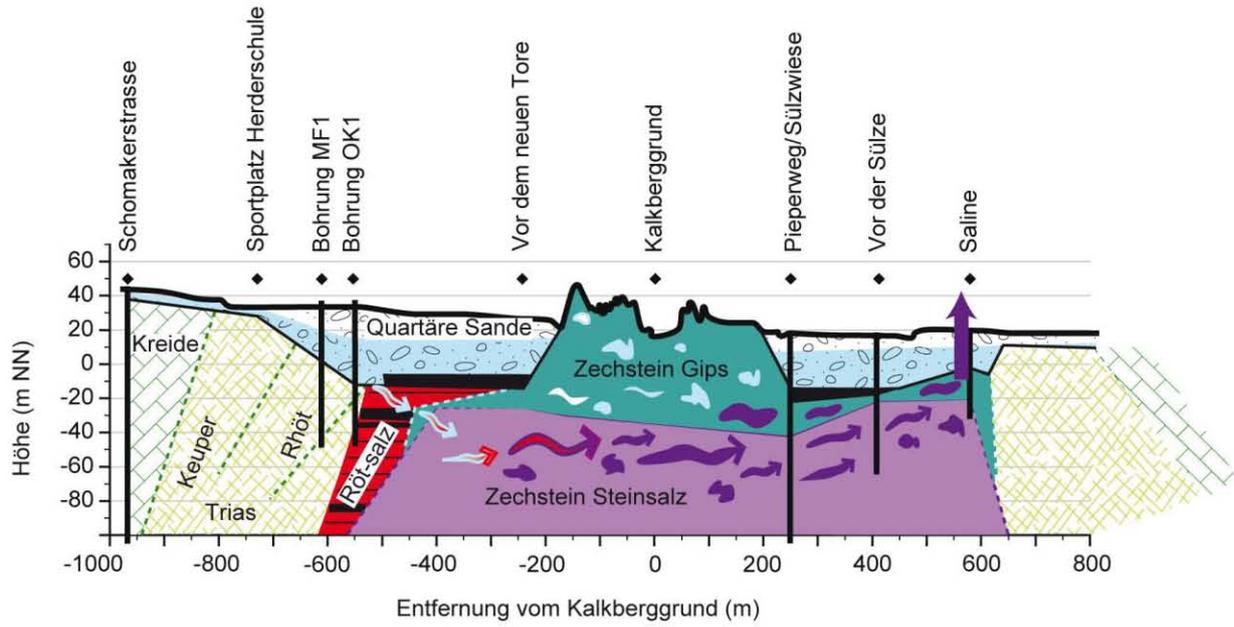
Die Abb. 3.10a skizziert schematisch den Aufbau des obersten Stockwerks des Salzstocks und wie man sich den Weg der frisch aus Regenwasser und Salz entstandenen Sole wohl vorzustellen hat. Die Datengrundlage für diesen geologischen Schnitt liefern vier Bohrungen, beginnend mit den Bohrungen am Michaelisfriedhof und Ochtmisser Kirchsteig; weitere Bohrungen stammen aus der Veröffentlichung von Stoller (Stoller, 1918). Dies sind eine tiefe Bohrung am Pieperweg auf den Sülzwiesen

nahe am Kalkberg, eine Bohrung vor der Sülze und die Salinenbohrung selbst, in der die Sole aus dem Untergrund gefördert wurde. Sicherheit über den Verlauf des Schnittes gibt es nur an den Bohrlokalationen. Ausgehend von diesen Kontrollpunkten wurde der Rest des Profils aufgebaut.

Über dem Salzstock liegen etwa 40 m quartärzeitliche Sande durch die das Niederschlagswasser in die Tiefe bis zum Salzspiegel sickert. Zwischen diesen Sanden und dem Salz gibt es oftmals eine schwarze, feinkörnige Sedimentschicht von etwa einem Meter Mächtigkeit, die vermutlich aus Rückständen der Salzlösung besteht, d.h. Ton- und Siltpartikeln, die ursprünglich im Salz waren und nicht gelöst transportiert werden konnten. Im Kontakt mit dem Salz, Salzspiegel genannt, wird das Niederschlagswasser zur Sole und füllt den Porenraum in den untersten quartärzeitlichen Sanden. Wie hoch diese Sole den Porenraum in einem natürlichen System ausfüllen würde, wissen wir nicht, denn seit über 1000 Jahren wird die Sole aus diesem Niveau abgepumpt. Theoretisch müsste die Salzsole den unteren Teil des quartärzeitlichen Sande bis auf ein Niveau ausfüllen, das der tiefste Stelle des umgebenden Mantelgipses entspricht und dort dann in den Bereich außerhalb des Salzstocks wegsickert, d.h. letztendlich in etwa 20 Metern unter der Erdoberfläche langsam im Porenraum der Sande der Ilmenau zufließen. Diese mit Sole gefüllte Zone ist in der Abb. 3.10 hellblau unterlegt. Den natürlichen Überlauf bestimmt damit die Tiefenlage der den Kessel ummantelnden wasserundurchlässigen Festgesteine des Röts und des Keupers; beides gute Wasserstauer. Die Sole sollten im natürlichen Zustand also wie in einer Wanne in dem Kessel über dem Salzstock stehen.

Frisches Wasser fließt dabei von den erhöhten Randlagen ständig nach. Die topographischen Höhen auf dem Kreideberg liegen bei etwa 35 m, auf den Sülzwiesen bei etwa 15 m. Daraus ergibt sich ein sehr starkes Druckgefälle zwischen Randhöhen und Kessel. Bohrungen im gesamten Altstadtgebiet weisen daher oft einen artesischen Druck auf, d.h. das Wasser steigt in einem Bohrloch empor bis zu dem Druckniveau auf den hochliegenden Bereichen. Der Solefluss kann also nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren erklärt werden, der deutlich den Zusammenhang zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser (Sole) veranschaulicht (siehe hierzu Abb. 2.1 in Kapitel 2: Historische Entwicklung).

a)



b)

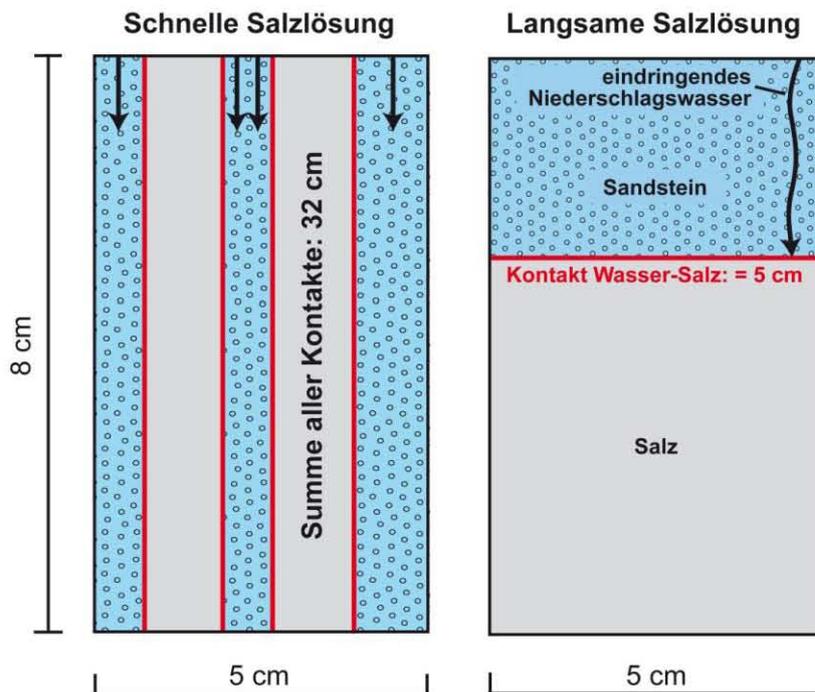


Abb. 3.10: a) Geologischer Schnitt durch den Kalkberg und oberen Teil des Salzstocks, rekonstruiert aus den tiefen Bohrungen der Saline und den beiden Bohrungen vom Ochtmisser Kirchsteig. b) Schemazeichnung der Lösung im Rötgips und auf dem Salzspiegel des Zechstein Salzes.

Normalerweise würde die Sole die Senke ausfüllen und dort stagnieren oder allenfalls ganz langsam über die ummantelnden Gesteine des Keupers und des Röts hindurchsickern. In Lüneburg verändert aber der Mensch seit über tausend Jahren diese Situation, indem an der Saline ständig fast gesättigte Sole entnommen wird. Der 40 m tiefe Salinenbrunnen steht in einer Aufwölbung des Mantelgipses und reicht bis auf den Salzspiegel hinab. Durch den hydrostatischen Druck steigt die Sole aber in dem Brunnen um fast 25 m und steht heute wie schon in der Vergangenheit immer bei etwa 14 m unter der Erdoberfläche. Auch diese Sole ist, wie das Grundwasser, offensichtlich gespannt, d.h. steht unter dem Druck des Grundwassers, das vom Zeltberg über die Herderschule bis zum Kreideberg in den Kessel fließen will. Die Tatsache dieser Spannung ist schon seit etwa 100 Jahren bekannt, als eine Bohrung im Schildstein, der ebenfalls im Mantelgips liegt, stark gespanntes Grundwasser erreichte und der Salinensolebrunnen gleichzeitig fast versiegte. Nach Schließung des Bohrloches im Schildstein stieg der Wasserspiegel im Solebrunnen sofort wieder an. Diese Abhängigkeit zwischen den Solespiegeln in verschiedenen Bohrungen zeigt sehr eindrucksvoll, dass der Solefluss wirklich nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren funktioniert und die Sole nicht einfach aus der Tiefe hochgepresst wird. Es sind damit eindeutig die Niederschläge auf dem Kreideberg und dem Zeltberg, die die Salinenbohrung sprudeln lassen. Aus diesem Verständnis sind die Fließbahnen der Sole in Abb. 3.10. eingezeichnet und stellen den einzig schlüssigen Verlaufsweg dar.

Aber wie schnell fließt das Wasser? Diese Frage hängt an der Durchlässigkeit der eiszeitlichen Sande, insbesondere aber auch an der Klüftigkeit des Gipses im Kalkberg und Mantelgips. Große Hohlräume sind im Kalkberggrund gut aufgeschlossen und durchsetzen das Gipsgestein, da Gips wasserlöslich ist, wenn auch nicht so gut wie Salz. Die Sole in den Gipsklüften und -höhlen kann daher sehr schnell fließen, bewegt sie sich aber erst dann, wenn sie an anderer Stelle abgepumpt wird. Nur, wenn Sole an einer tiefen Stelle (Salinenbohrung) entnommen wird, kann auch Sole nachfließen und dann wiederum frisches Grundwasser von der Randzone in den Salzstock eindringen und neues Salz lösen. In dem Kessel, der die äußere Ummantelung darstellt, dringt die Sole bis etwa 250 m Tiefe in das Salz/Gips-Gemisch des Gipshutes ein, d.h. der untere Bogen der kommunizierenden Röhren liegt in etwa 200 m Tiefe. In dieser Tiefe herrscht eine Temperatur von 14°C. Mit dieser Temperatur wird die Sole bei der Saline gefördert (in der Vergangenheit und auch heute noch). Daher ist der Fluss der Sole in Abb. 3.10. bis in eine Tiefe von etwa 200 m dargestellt.

Die Sole sollte auf diesem tiefen Weg vollständige Sättigung erreichen (26% Salzgehalt) und kann dann kein weiteres Salz mehr lösen. Sie versiegelt das System nach unten und es bildet sich ein Kreislauf nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren: Das eine Ende der Röhre liegt im Randbereich des Salzstocks, wo der Wasserspiegel durch die versickernden Niederschläge ständig aufgehöhht wird. Die Krümmung der Röhre liegt in etwa 250 m Tiefe. In der anderen Röhre steigt der Solespiegel, bis ein Überlauf erreicht wird und sich ein Gleichgewicht einstellt. Pumpt man aber die Sole am Überlauf ab (Saline) und senkt so hier den Solespiegel, muss Grundwasser aus dem Randbereich möglichst schnell diesen Massenverlust ausgleichen. Damit kontrolliert die Menge der entnommenen Sole letztlich den gesamten Sole-Kreislauf, denn ohne Entnahme würde die schwere gesättigte Sole in der Tiefe verbleiben und nie das Tageslicht erreichen.

So muss die Situation bis ins frühe Mittelalter gewesen sein, denn sonst wäre das Lüneburger Salzvorkommen mindestens seit der Bronzezeit genutzt worden. Im frühen Mittelalter muss es also irgendwann einmal einen extremen Starkregen gegeben haben, der den hydrostatischen Druck von den Umgebungshöhe in die Tiefe des Kessels so groß werden ließ, dass die Sole bis an die Oberfläche stieg und dort natürlich ausgetreten ist. Das war der Tag der Salzsau und der Beginn der Erschließung der Lüneburger Solequelle.

Der oben und in der Abbildung skizzierte Weg der Sole beruht auf Schlussfolgerungen aus den vorhandenen Informationen zur geologischen Tiefenstruktur, den Grundwassergleichen und der Kernbohrung am Ochtmisser Kirchsteig. Demgegenüber haben die Salinenbetreiber während der gesamten Betriebszeit bis zum Jahr 1980 eine andere Meinung zur Herkunft der Sole vertreten, allerdings ohne stichhaltige Belege zu liefern. Man bestritt in der Salinenleitung immer wieder einen Zusammenhang zwischen Grundwasserzutritt und Salzlösung, sondern nahm an, dass die Sole aus sehr großen Tiefen des geologischen Untergrunds stammt, evtl. gar nicht aus dem Salzstock selbst, da der Porenraum der Sedimente im gesamten Norddeutschen Becken von 6000 m Tiefe bis 400 m unterhalb der Erdoberfläche mit gesättigter Salzlauge gefüllt ist. Man nahm an – oder hoffte, dass durch tektonische Pressungen an dem aufsteigenden Salzstock diese Lauge in dem Mantelgips bis an die Erdoberfläche gelangen konnte. Dieses Szenario ist zwar nie nachgewiesen worden, stellt jedoch tatsächlich eine mögliche Erklärung dar. Wir werden im nachfolgenden Abschnitt zeigen, dass es seit 1980 Befunde gibt, die jedoch ganz eindeutig für den oben in diesem Kapitel ausführlich

beschriebenen Zusammenhang zwischen Grundwasser und Salzlösung sprechen. Aber vorher wollen wir noch ein weiteres Phänomen der Lüneburger Senkungsschäden betrachten.

Erdfälle

Erdfälle sind vor 1980 vielfach durch die „Lüneburger Landeszeitung“ und verschiedene populärwissenschaftliche Veröffentlichungen zum Thema geworden (u.a. Lamschus, 2000), da diese meist kreisrunden Löcher von mehreren Metern Durchmesser und mehreren Metern Tiefe ein hohes Gefahrenpotential darstellen. Abb. 3.11 zeigt einen doppelten Erdfall in der Dörnbergstraße aus dem Jahr 1957. Das Loch mit einer sehr steilen Wand war immerhin etwa acht Meter tief. Es ist nach wie vor ungeklärt, wie weit Erdfälle wirklich in den Boden hineinreichen, da man leider nie darin nachgebohrt hat. Berichtet wird schon seit dem Mittelalter darüber (Tabelle 1 in den Materialien). Interpretiert wurden sie allerdings schon immer als Einsturz von Hohlräumen im Gips unter der Erdoberfläche.



Abb. 3.11: Zwei Erdfälle in der Dörnbergstraße im Jahr 1956, etwa 200 m südlich des Ochtmisser Kirchsteigs, Blick aus einem großen Erdfall (Pleiß & Welke 1959)

Solche Hohlräume entstehen durch Grundwasser, das im Gipsstut oder auch Mantelgips fließt und dabei den Gips löst. Die Lösung findet zwar nicht so ausgeprägt statt wie in Lagen mit Steinsalz; dennoch ist sie quantitativ bedeutend. Darüber hinaus zeigt sich Gips spröder und härter als Salz, so dass Hohlräume von einigen Zentimetern Durchmesser nicht sofort zusammenbrechen, wie dies bei Lösungsporen im plastischen Salz geschehen würde (vgl. Abb. 3.9), sondern die Hohlräume erreichen eben durchaus mehrere Meter Durchmesser (wie etwa die Aushöhlungen im Kalkberggrund). Irgendwann können auch sie einstürzen und pausen sich als Erdfälle bis auf Oberflächenniveau durch. Häufig liegen sie recht dicht unter der Erde wenn auch der Gips oberflächennah ansteht (z.B. in der Dörnbergstraße); es gibt jedoch aus der Erdölexplorationsgeologie auch Beispiele, dass in den Salzstöcken Norddeutschlands in 200 m unterhalb der Oberfläche noch große Höhlen, die allerdings mit gesättigter Sole gefüllt sind, existieren. Die Tiefenlage der Erdfälle kann insofern stark variieren und auch das Ausmaß, wie sehr sie sich bis an die Oberfläche durchpausen, dürfte davon abhängen, wie tief genau der Hohlraum liegt. Im Falle einer Höhle in 30 – 40 m Tiefe könnte tatsächlich ein steiler Schacht entstehen, während bei einer Basis des Erdfalls in über 100 m Tiefe – möglicherweise überschichtet von Festgestein – sich das überdeckende Gestein langsam durchbiegen und einen flachen, aber sehr großen Trichter an der Erdoberfläche hinterlassen würde.

Das Verteilungsmuster der Erdfälle in den letzten 500 Jahren zeigt eine fast flächendeckende Ausbreitung (Abb. 3.12) Diese Karte basiert auf Tabelle 1 im Anhang und ist aus Daten aus dem Bericht von Bicher (1928), der Arbeit von Ferger (1969) und der Karte der BGR (Büchner, 2001) zusammengestellt (Abb. 3.13). Darin zeigen sich sowohl Gebiete mit häufigen Erdfällen als auch Regionen, in denen es sie nur vereinzelt gab. Unter den Süzwiesen ist interessanterweise keiner beschrieben. Vermutlich existiert dort überhaupt kein Gips; weder Höhlen noch Erdfälle konnten entstehen. Das Phänomen beschränkt sich vor allem auf den Osten und Norden des Senkungsgebiets, vermutlich weil hier der Gips mächtiger als im Westen ist und dichter unter der Erdoberfläche ansteht. Im Westen wiederum konzentrieren sich Erdfälle nur um den Schildstein herum, der wohl in seiner Struktur dem Kalkberg ähnelt, aber nicht aus Gips, sondern aus Anhydrit besteht. Es fällt auf, dass sich Erdfälle im gesamten Stadtgebiet bänderförmig ausbreiten und zwischen Frommestraße und Altstadt am deutlichsten ausgeprägt sind. Vermutlich entsprechen diese Bänder den Gipsschnüren und damit Hauptfließbahnen der Sole in etwa 50 – 200 m Tiefe.

oberflächennah anstehenden Kreide könnte es sich also um Dolineneinsturztrichter handeln.

Eine Zeitreihe der Erdfälle verdeutlicht, wie lange es dieses Phänomen schon gibt (Abb. 3.13). Die deutliche Häufung im 20. Jahrhundert weist aber wiederum auf den gravierenden Einfluss der extrem starken Soleentnahme seit dem Ersten Weltkrieg hin. Seit Einstellung des Salinenbetriebs lassen sich überhaupt keine Erdfälle mehr beobachten, was doch sehr auffällig ist. Es wird allerdings diskutiert, ob die starken Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig nicht auf einen verdeckten, sehr tiefen Erdfall hinweisen könnten. Die beiden Bohrungen dort konnten diese Hypothese bislang nicht bestätigen.

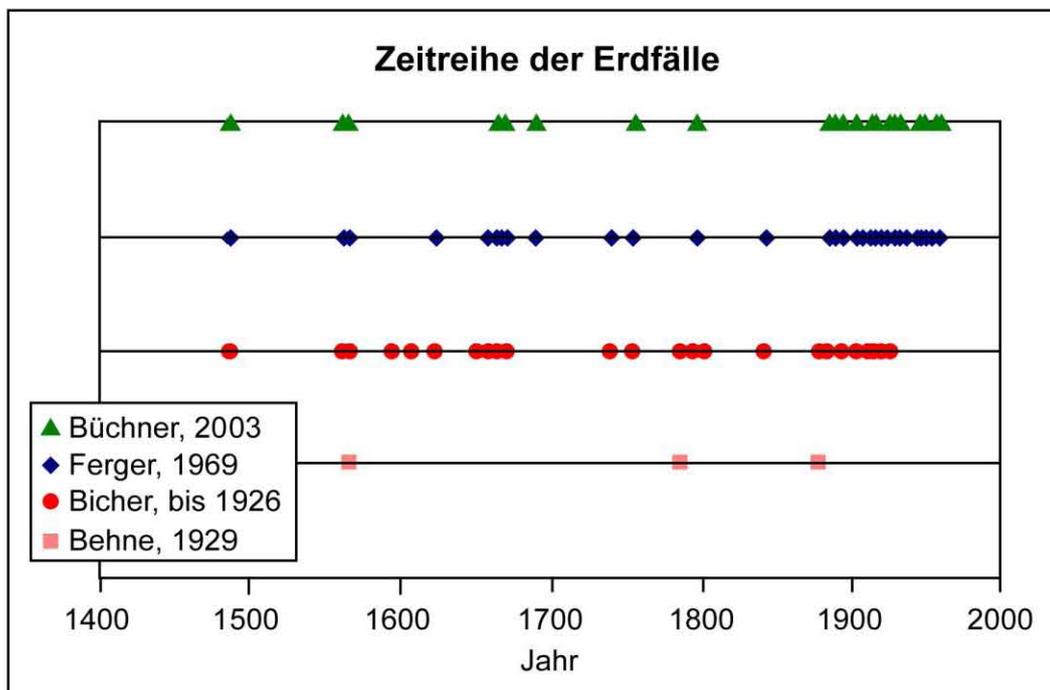


Abb. 3.13: Zeitreihe historisch beschriebener Erdfälle seit dem Mittelalter

Zeitliche Entwicklung der Senkung

Das digitale Geländemodell Abb. 3.14 zeigt deutlich, dass der Kessel von Lüneburg fast kreisrund ist und einen ursprünglich kontinuierlich durchlaufenden Höhenzug einer NW-SE verlaufenden saalezeitlichen Endmoräne unterbricht. Der Kessel schmiegt sich zwar randlich an das Ilmenautal, liegt aber nicht in diesem Tal selbst. Im Zentrum des

Kessels liegt der Kalkberg, der den Gipshut des Salzstocks darstellt. Diese topographische Situation ist eine der wesentlichen Randbedingungen für ein Verständnis der Grundwasserfließbewegungen.

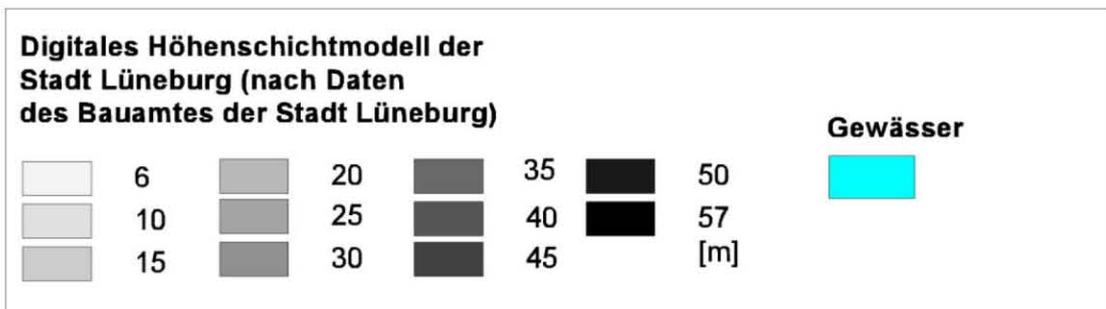
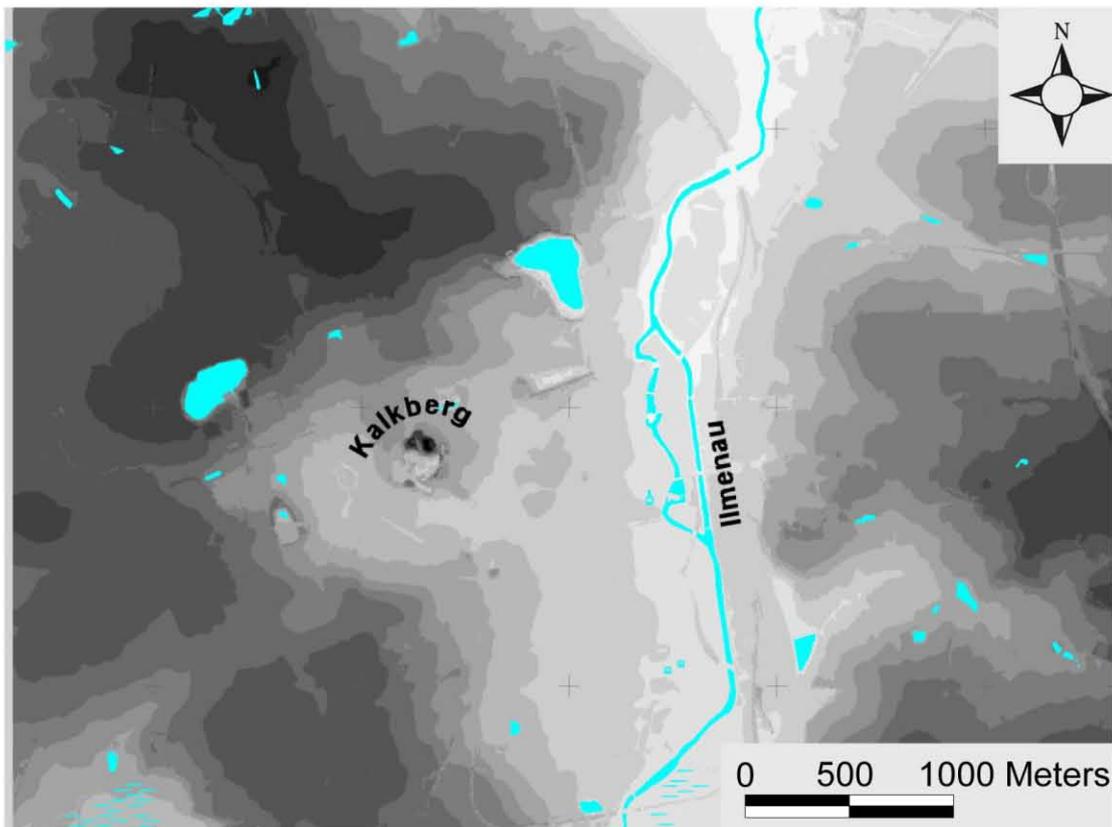


Abb. 3.14: Digitales Höhengschichtmodell der Stadt Lüneburg mit Lage des Senkungsgebiets

Informationen über die Grundwasserpegel liegen aus fast 2000 flachen Bohrungen beim Bauamt der Stadt vor. Diese Daten wurden freundlicherweise von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt. Danach steht das Grundwasser im gesamten Stadtgebiet einige Meter unter der Erdoberfläche, und damit auf den Kessel umgebenden Höhen deutlich höher als im Kessel selbst (Abb. 3.15). Daraus ergibt sich

ein sogenannter hydrostatischer Druck, der von den Höhenzügen in den Kessel wirkt. Linien mit gleicher Grundwasserhöhe werden Grundwassergleichen genannt. Die Fließrichtung des Wassers verläuft immer senkrecht zu ihnen, d.h. entlang des stärksten Gefälles. Die Pfeile in Abb. 3.15 zeigen die rekonstruierte Fließrichtung des Wassers in den obersten Metern des Grundwasserstockwerks. Daraus lässt sich ablesen, dass das Regenwasser auf den Hochflächen im Norden, Westen und Süden der Stadt versickert, um von da aus in Richtung auf das Zentrum des Kessels und weiter zur Ilmenau zu fließen.

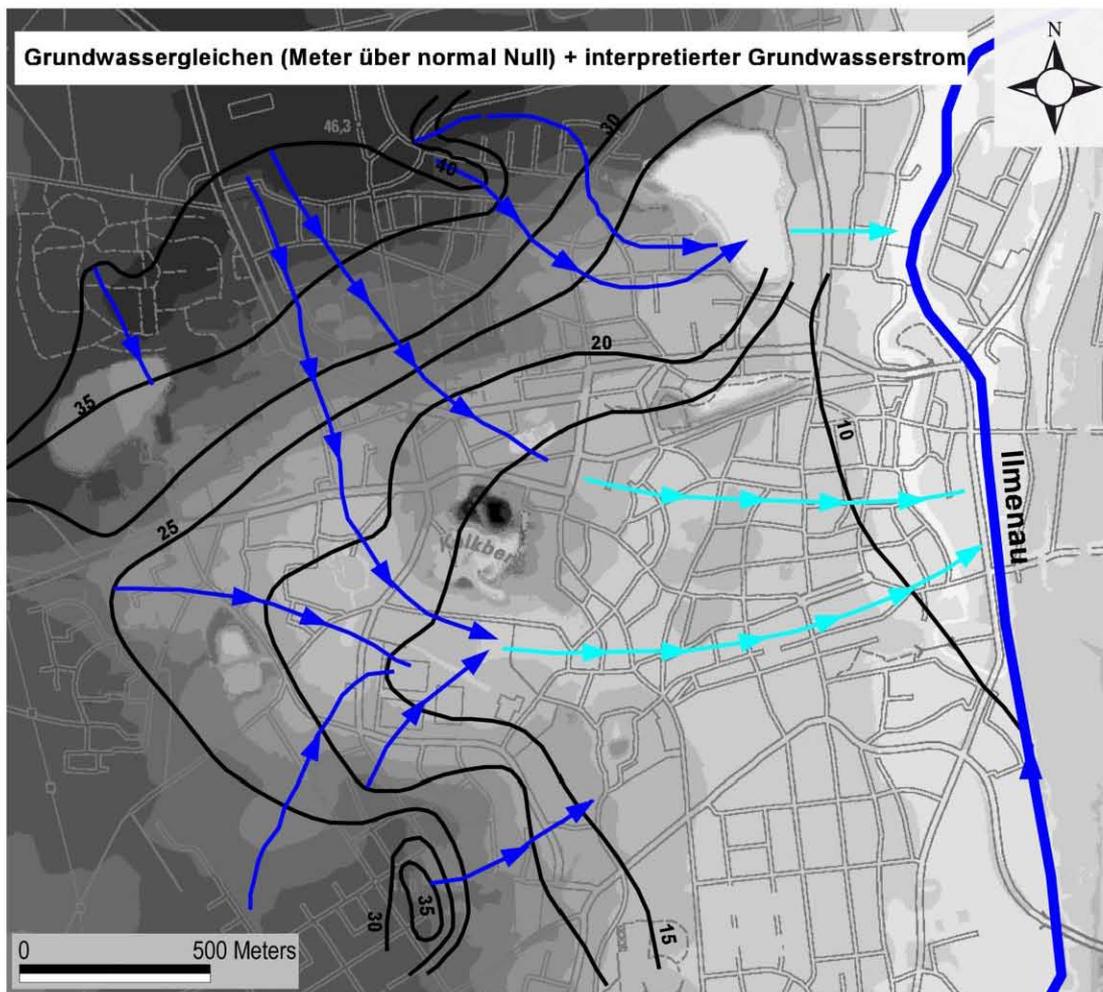


Abb. 3.15: Digitales Höhengschichtmodell mit Straßennetz und Grundwassergleichen, d.h. Linien gleicher Grundwasserhöhe über dem Meeresspiegel.

Der hydrostatische Druck des Grundwassers drückt in den lockeren quartärzeitlichen Sanden bis zum Salzstock und dann in den Hohlräumen des Gipshutes und Mantelgips auch bis in größeren Tiefen. Normalerweise würde die schwere Sole in diesen Tiefen

wohl kaum fließen, wird die Sole aber entnommen strömt sie in Richtung der Entnahmestelle, und damit kann frisches Wasser in die Tiefe nachfließen, kommt in Kontakt mit dem Salz und löst es bis das Wasser mit Salz gesättigt ist, um dann als Sole ebenfalls Richtung Entnahmestelle zu fließen (Abb. 3.10). Senkung ist damit immer dort stark, wo frisches Wasser mit dem Salz in Berührung kommt.

Abb. 3.2 und 3.3 zeigen Senkungsschäden, wie sie in den Jahren vor und nach dem Zweiten Weltkrieg zum alltäglichen Stadtbild gehörten. Um das Ausmaß der Senkungen zu dokumentieren, wurden in Lüneburg seit 1899, verstärkt dann in den Nachkriegsjahren des 20. Jahrhunderts, ständig geodätische Vermessungen vom Stadtbauamt durchgeführt und bis zu 2000 Bolzen (Messpunkte) gesetzt. Diese Messpunkte (Abb. 3.16) werden in regelmäßigen mit dem Theodoliten vermessen und aus den Abweichungen zwischen den Jahren werden Hebung und Senkung errechnet. Für die Untersuchungen im Rahmen der Recherche für diesen Artikel wurden alle Senkungszeitreihen ausgedruckt; dabei zeigt sich, dass es sechs typische Kurvenverläufe über die letzten 60 Jahre gibt. Abb. 3.17 zeigt typische Vertreter dieser Senkungszeitreihen. Trägt man diese 6 Typen in eine Karte der Altstadt ein, zeigen sich deutliche regionale Muster (Abb. 3.18).

Wird noch eingefügt

Abb. 3.16: Foto eines Vermessungsbolzens mit Theodolit.

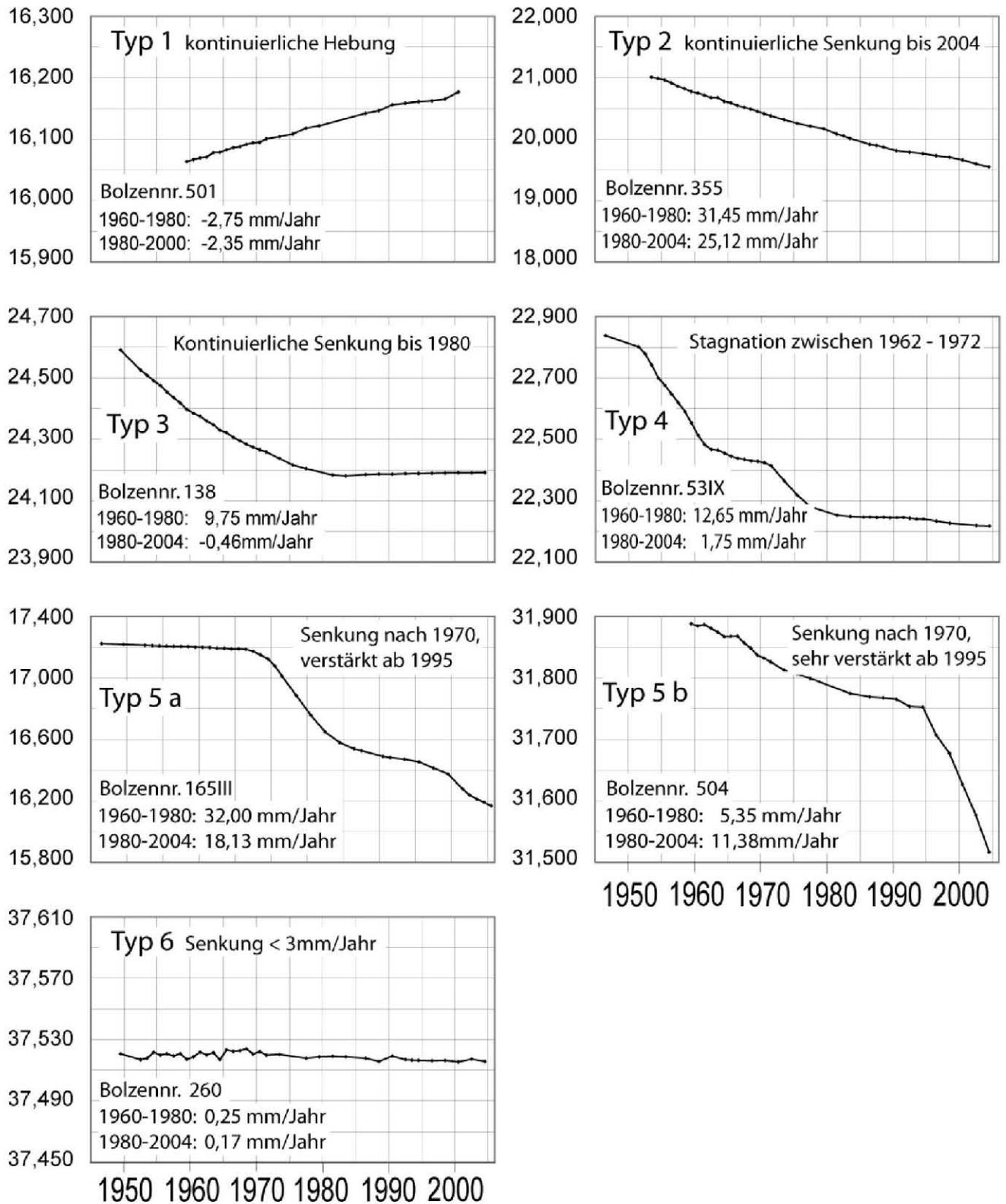


Abb. 3.17: Zeitreihen des Senkungsverlaufs mit verschiedenen Senkungstypen

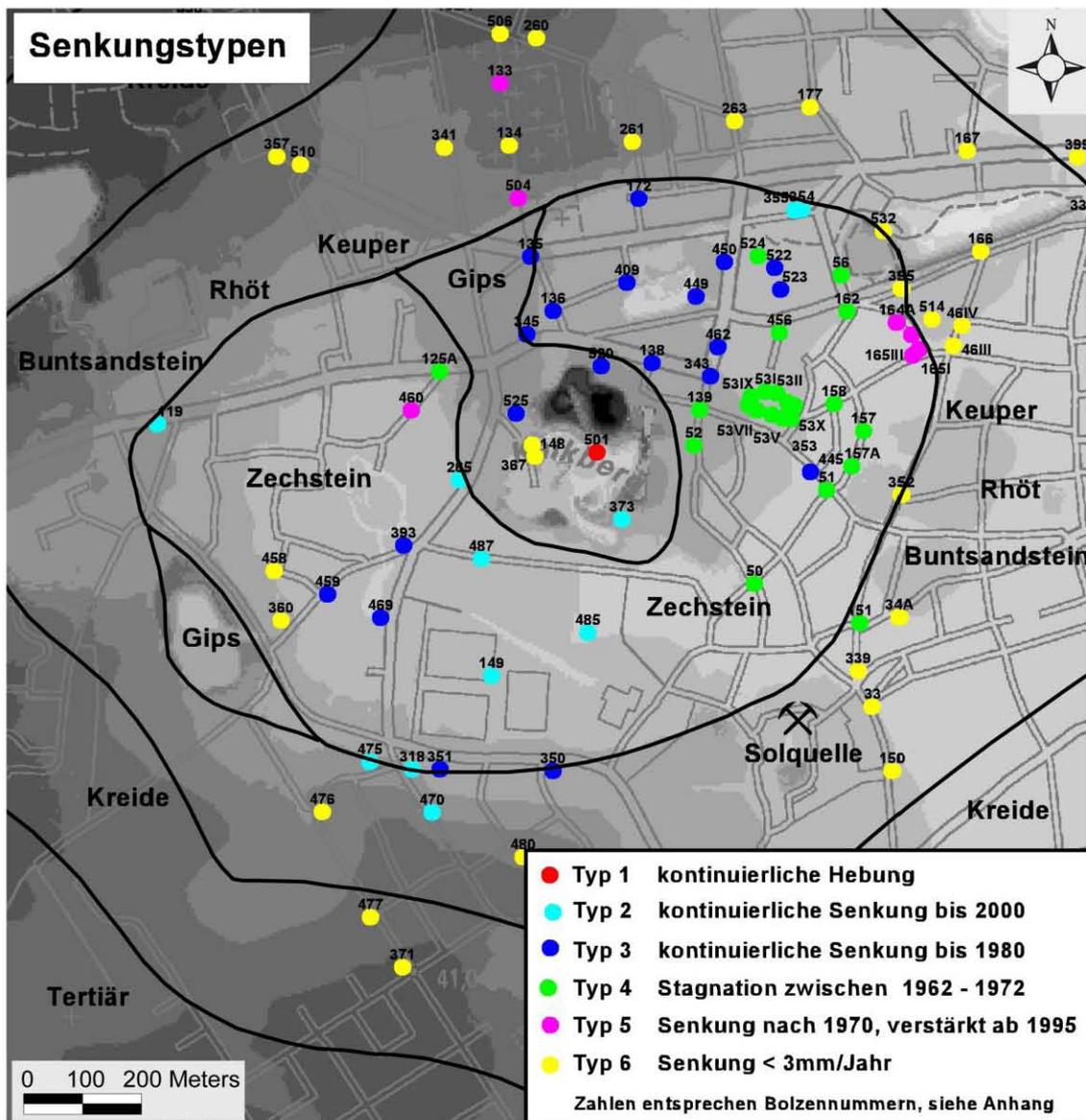


Abb. 3.18: Hörschichtmodell mit Stadtplan, Verteilungsmuster der Senkungstypen und Bolzennummern

Typ 1 dokumentiert die Hebung des Kalkbergs, der mindestens seit 1960 durchgehend mit etwa 2,5 mm/Jahr aufsteigt. Eine kontinuierliche Senkung um etwa 27 mm/Jahr kennzeichnet Typ 2, der nur an der Frommestraße zu finden ist. Eine Stagnation der Senkung nach 1980, d.h. unmittelbar nach Schließung der Saline, zeigt Typ 3. Typ 4 hingegen – hauptsächlich im Altstadtzentrum anzutreffen – stagniert zwar ebenfalls vollständig nach 1980, zeigt im Unterschied zu seinem Vorgänger aber schon zuvor eine erste Stagnationsphase von 1962 – 1970. Genau in dieser Zeitspanne hat man die große Kaverne unter den Sülzwiesen ausgesolt (vgl. Abb. 3.6.) und somit zugleich die Entnahme von Sole aus dem Salzspiegel deutlich reduziert. Typ 4 dokumentiert hiermit

besonders eindrucksvoll, wie unvermittelt Senkungen auf Änderungen in der Salzförderung reagieren können.

Typ 5 mit einer erst nach 1970 einsetzenden Senkung gibt es – mit einer Ausnahme – nur an der äußersten Grenze des Senkungsgebiets im Norden und Nordosten der Altstadt. Dieser lokal begrenzte Typ zeigt eine deutliche Verstärkung nach 1995. Der Winter 1994/95 waren extrem trocken und kalt, so dass Frost sehr tief in die Höhlen des Kalkbergs eindrang. Den gesamten Winter stieg Dunst aus den Höhlen auf. Im Sommer konnte das Wasser im Kalkberggrund nicht versickern und als es im Spätsommer abgetrocknet war, zeigten sich tiefe Risse im Kalkberggrund (Abb. 3.27). Der Typ 5 ist damit der für die heutigen Verhältnisse wichtigste, und wir werden daher diesen Kurvenverlauf im forlaufenden weiter betrachten.

Zur weiteren Quantifizierung der Senkungsvorgänge sind die kontinuierlich durchlaufenden Kurven in drei Zeitscheiben aufgeteilt worden. Die erste Abbildung dokumentiert Senkungsbeträge von mehr als 5 mm/Jahr zwischen 1960 – 80 im gesamten Altstadtbereich sowie hohe Werte von über 10 mm/Jahr in der östlichen Altstadt (Abb. 3.19). Höchstwerte der Senkung liegen in den Straßenzügen Auf dem Meere und Frommestraße mit über 30 mm/Jahr. Ganz anders das Muster von 1980 – 2000. Es zeigt einen flächendeckenden Rückgang der Senkung auf Werte von etwa 1 mm/Jahr (Abb. 3.20) Maxima mit mehr als 20 mm/Jahr liegen jetzt noch in der Egersdorffstraße, d.h. um 100 m versetzt vom abgeklungenen Senkungszentrum im Bereich Auf dem Meere und Frommestraße, wo die hohen Werte schon seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts beobachtet wurden. Die Karte für 2004 entspricht dem Verteilungsmuster von 1980 – 2000, nur dass jetzt die Senkung in der Frommestraße deutlich geringer ausfällt, während sich das Maximum inzwischen an den Ochtmisser Kirchsteig verschoben hat (Abb. 3.21).

Zur weiteren Quantifizierung der Senkungsvorgänge sind die kontinuierlich durchlaufenden Kurven in drei Zeitscheiben aufgeteilt worden. Die erste Abbildung dokumentiert Senkungsbeträge von mehr als 5 mm/Jahr zwischen 1960 – 80 im gesamten Altstadtbereich sowie hohe Werte von über 10 mm/Jahr in der östlichen Altstadt (Abb. 3.19). Höchstwerte der Senkung liegen in den Straßenzügen Auf dem Meere und Frommestraße mit über 30 mm/Jahr. Ganz anders das Muster von 1980 – 2000. Es zeigt einen flächendeckenden Rückgang der Senkung auf Werte von etwa 1 mm/Jahr (Abb. 3.20) Maxima mit mehr als 20 mm/Jahr liegen jetzt noch in der

Egersdorffstraße, d.h. um 100 m versetzt vom abgeklungenen Senkungszentrum im Bereich Auf dem Meere und Frommestraße, wo die hohen Werte schon seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts beobachtet wurden. Die Karte für 2004 entspricht dem Verteilungsmuster von 1980 – 2000, nur dass jetzt die Senkung in der Frommestraße deutlich geringer ausfällt, während sich das Maximum inzwischen an den Ochtmisser Kirchsteig verschoben hat (Abb. 3.21).

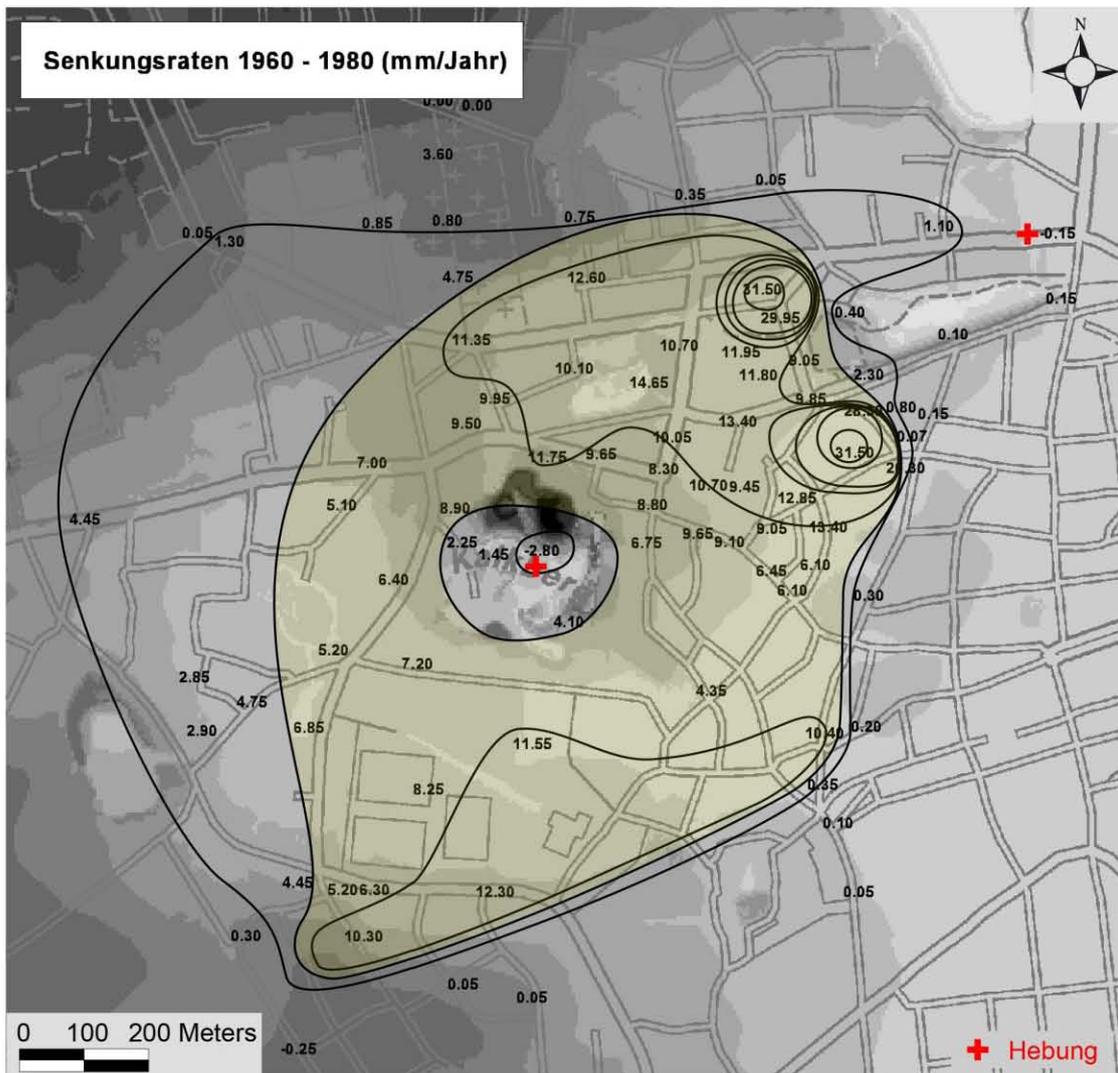


Abb. 3.19: Höhengschichtmodell mit Senkungsdaten 1960 – 1980

Alle hier ermittelten Wendepunkte der Senkungsmuster vor 1980 – nämlich die Jahre 1962, 1979, 1980 – verlaufen zeitlich synchron mit unterschiedlichen Solefördermengen

und können einfach erklärt werden. Die Änderungen im Jahr 1995 bedürfen aber noch einer Klärung, die später noch gegeben wird.

- 1962: mit Beginn der Kavernenaussohlung stagniert die Senkung in der Altstadt
- 1970: mit Ende der Kavernenauslaugung beginnt die Senkung erneut
- 1980: mit Schließung der Saline endet die flächenhafte Senkung
- seit 1980 setzen sich Senkungen nur an der Frommestraße kontinuierlich fort
- 1995: Beginn der Senkungen auf dem Michaelisfriedhof mit 30 mm/Jahr
- 2002: Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig verstärken sich um den Faktor 10 und erreichen 30 cm/Jahr.

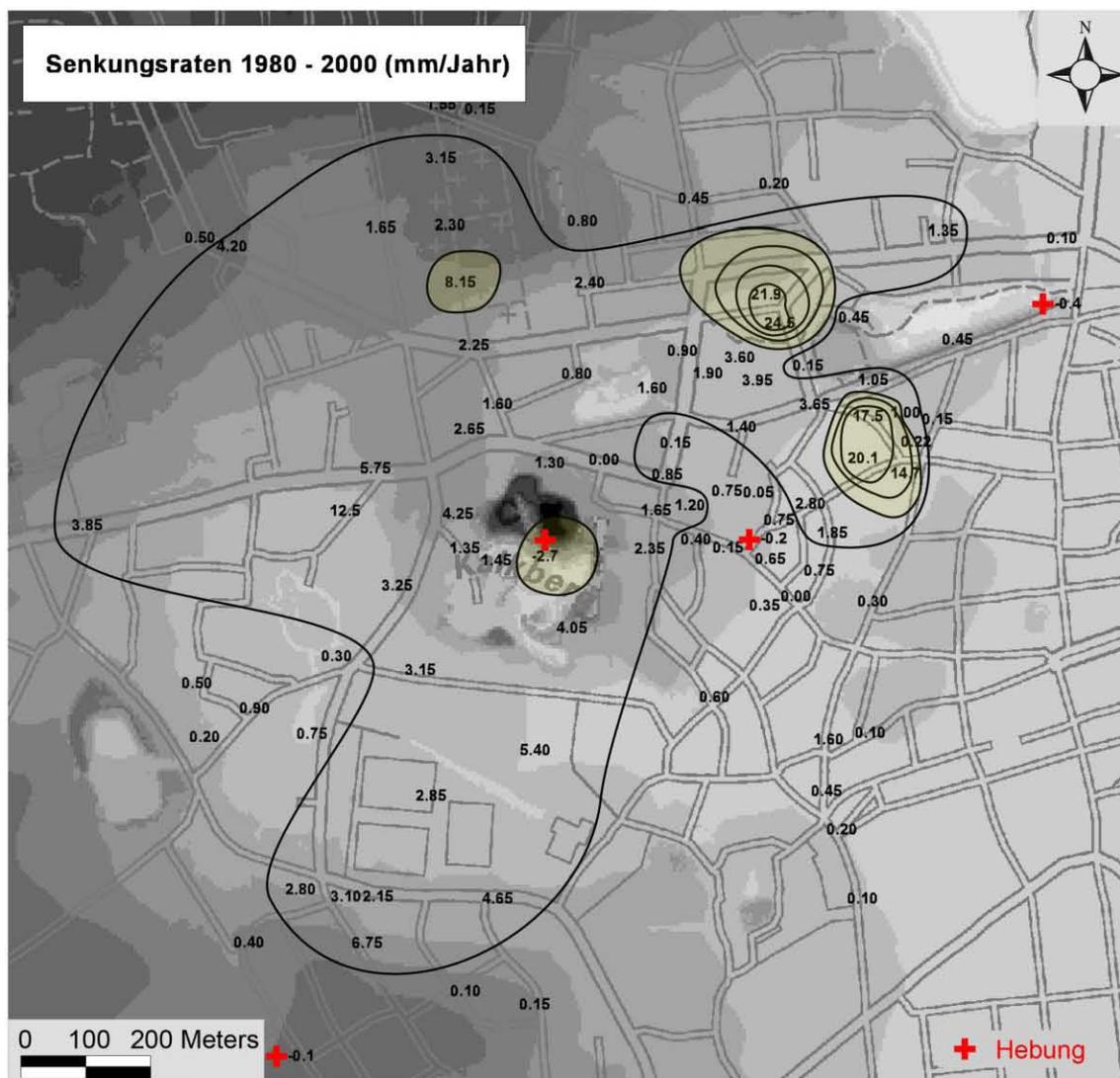


Abb. 3.20: Höhengschichtmodell mit Senkungsraten 1980 – 2000

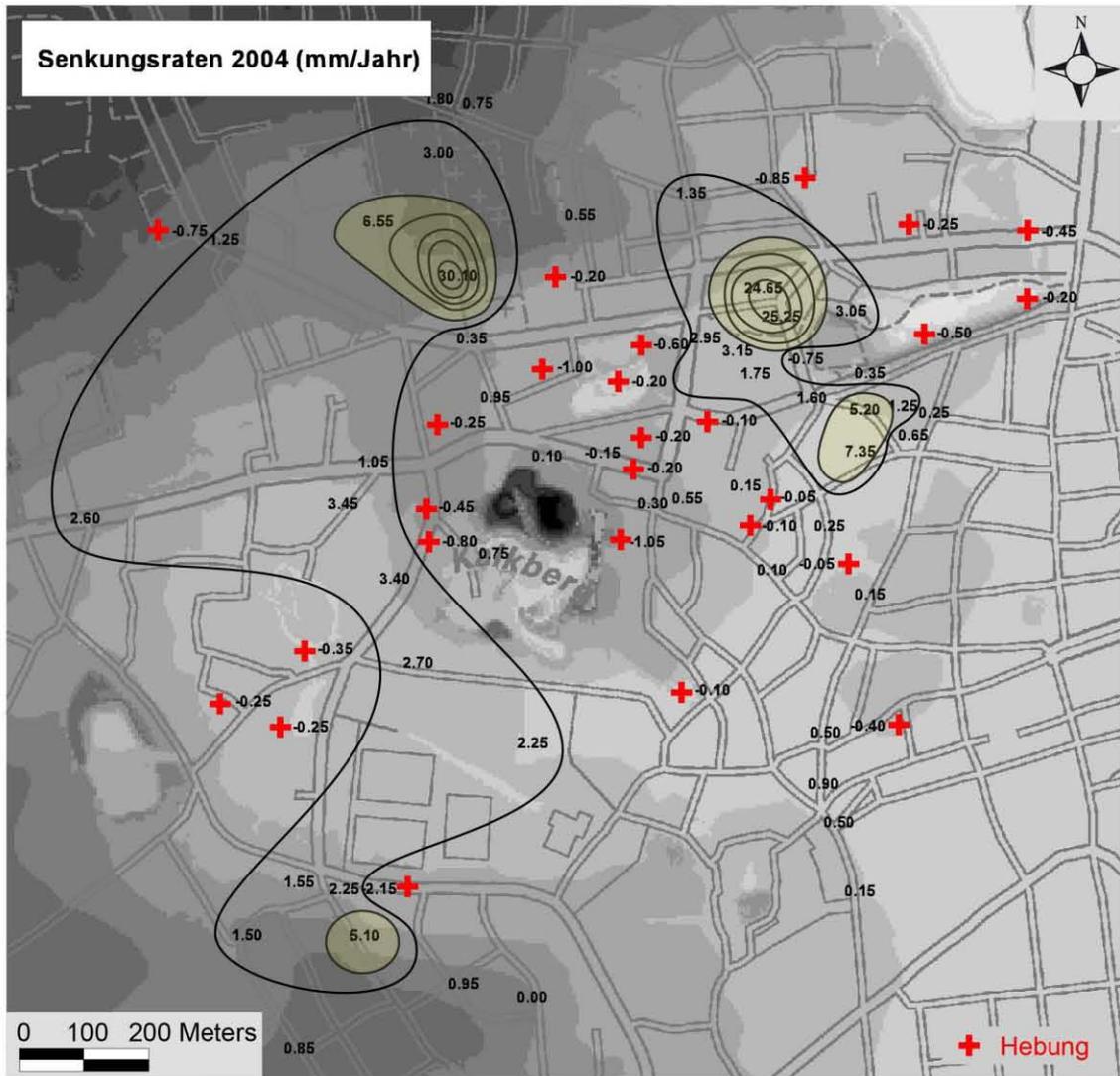


Abb. 3.21: Höhengschichtmodell mit Senkungsdaten 2004

Wie oben diskutiert lassen sich die Senkungen vor 1980 mit Sicherheit vollständig auf die Entnahme von Sole durch die Saline zurückführen. Mögliche Ursachen für die sprunghaften Entwicklungen in 1995 und 2002 werden in den nachfolgenden Kapiteln diskutiert.

Horizontale Verschiebungen und Pressungen

Für die Erklärung extremer Senkungen müssen wir einen letzten Prozess diskutieren, der in der öffentlichen Diskussion und auch der Fachliteratur eigentlich nie erwähnt wird – obwohl er eigentlich offensichtlich ist. Seit 1931 ist bekannt, dass Pressungen

(Zusammenschieben der Erdoberfläche) der oberflächennahen Schichten ein besonders gravierendes Problem darstellen können.



Abb. 3.22: Gartentor Frommestraße 2 und 3, 1898 und 2005
(Foto: Rudert / unten: Lamschus, 2000)

Ein historisches Foto des Hauses Frommestraße 2 und 3 zeigt, dass praktisch über Nacht ein mehrstöckiges Gebäude zerdrückt wurde (Abb. 3.2). Wie die Überschiebung im Bereich der Fensterüberdachungen und -brüstungen zeigt, wurde es um mehrere Dezimeter zusammengepresst. Ein weiterer Beleg für horizontale Erdbewegungen auf demselben Grundstück ist das Gartentor des zusammengepressten Hauses, dessen

zwei Flügel seit der Erbauung im Jahr 1898 um etwa einen Meter verschoben wurden (Abb. 3.22).

Eine mögliche Erklärung für diese Pressung könnten Rutschungen von festem Umgebungsgestein in ein Senkungszentrum hinein sein, dies ist zumindest die Erklärung, die im Zusammenhang mit dem „Tor zur Unterwelt“ immer wieder erwähnt wird. Die Häuser Frommestraße 2 und 3 liegen tatsächlich genau auf dem Abfall in die Senke. In diesem Falle könnte allein die Schwerkraft eine Verschiebung auslösen, die allerdings auf Hanglagen begrenzt sein sollte. Auf dem Platz zwischen Frommestraße und Gralwall (früher Kaiser-Wilhelm-Platz) gab es allerdings weitere Anzeiger für Verkürzungen der Erdoberfläche, nur eben in flachen Bereichen, womit allein die Schwerkraft als Ursache ausscheidet (Abb. 3.23). Hier müssen andere Kräfte ansetzen, bzw. auch die Erklärung für das Zusammenschieben des Tores sollte u.U. überdacht werden, denn eine weitere Möglichkeit, wie es zu Pressungen oder Erdfällen kommen kann, ergibt sich aus den gesteinsphysikalischen Eigenschaften des Gipses.

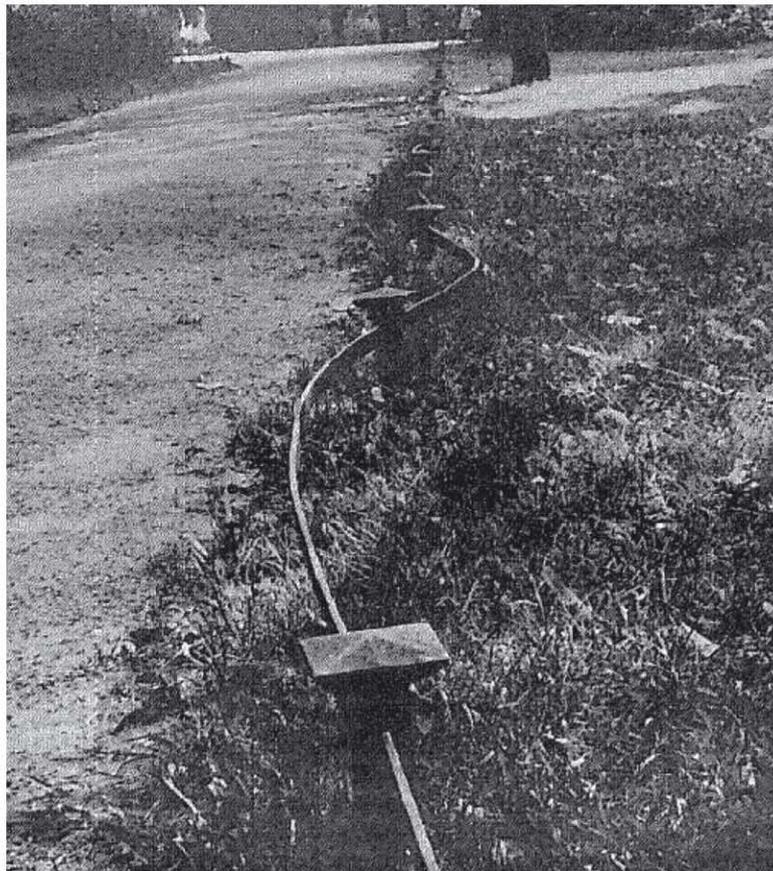


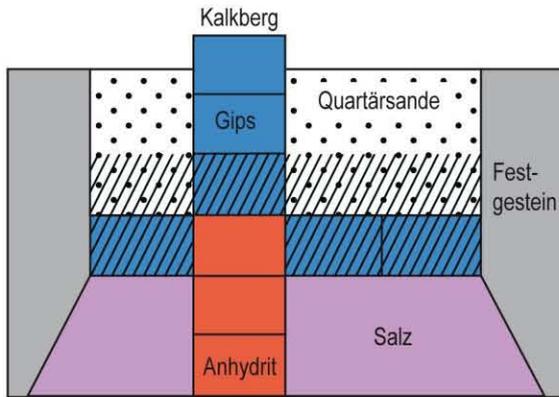
Abb. 3.23: Durch Pressungen verbogenes Geländer auf dem Kaiser-Wilhelm-Platz

(Sirocko, privat)

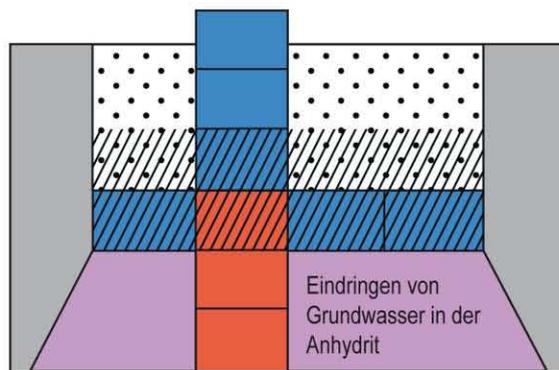
Gips ist ein Mineral aus Calciumsulfat und Wasser ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$). Er bildet sich aus Anhydrit (CaSO_4), der bei Wasseraufnahme auf das 1,6fache Volumen aufquillt. Alle Salzstöcke Norddeutschlands zeigen in ihrem Inneren mächtige Schichtpakete von Anhydrit, der sich schon im Perm primär aus dem verdunstenden Flachmeer gemeinsam mit dem Salz abgelagert hat. Die dickste Lage ist der sogenannte „Hauptanhydrit“, der bis zu 300 m mächtig sein kann. Der Kalkberg besteht hauptsächlich aus diesem Material, das nach Grundwasserkontakt bereits zu Gips gequollen ist. Dieser Prozess kann sich nur dann fortsetzen, wenn frisches Grundwasser mit frischem Anhydrit reagiert, also an der Basis des Gipshutes in etwa 100 – 300 m Tiefe. Wegen der Volumenzunahme verlängert sich ein 1 m langer Anhydritblock auf 1,6 m und übt dabei starken Druck auf das umgebende Gestein aus. An der Erdoberfläche zeigt sich dies durch Hebung. Ist die Drucklast des überlagernden Gesteins allerdings sehr groß, wird der Druck sicherlich auch zur Seite abgegeben und kann dann zu Pressungen und Druckschatten führen (Abb. 3.24, 3.25).

Abb. 3.24 skizziert diesen komplexen Prozess schematisch. Darin bewegt sich ein Anhydritblock aus der Tiefe in den Bereich, in dem das Grundwasser fließt. Alternativ könnte sich auch das Grundwasserstockwerk vertieft haben, etwa durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge oder während sehr kalter Winter, wenn das Wasser in den Höhlen des Kalkbergs friert und Klüfte durch Frostsprengung aufgeweitet werden. In dem in der Abbildung gezeigten Schema quillt der frische Anhydritblock auf, der Druck kann durch die Auflast des Kalkbergs jedoch nur zum Teil nach oben abgegeben werden, wobei er Risse auf der sich wölbenden Oberfläche des Kalkbergs verursacht. Der restliche Druck wirkt seitlich und schiebt die dort anstehenden ummantelnden Gesteine vom Kern des Salzstocks nach außen. Dieser auswärts gerichtete Druck wird wiederum zu Teilen umgelenkt und verursacht einen horizontalen Versatz an der Grenze zwischen Salz und Umgebungsgestein (Abb. 3.25).

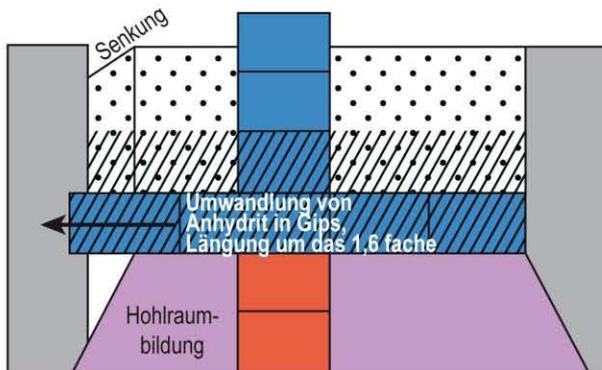
Die oberflächennahen eiszeitlichen Sedimente machen eine Längung in der Tiefe nicht mit, da sie aus quarzreichem Kies und Sand bestehen, die sich nicht ausdehnen können. Solche je nach Gesteinsart unterschiedlichen Ausdehnungsmöglichkeiten führen zwangsläufig zur Spaltenbildung im Kontaktbereich zwischen Lockersediment aus Kies bzw. Sand und ummantelndem Festgestein. Dadurch wird das Gefüge des Sediments so aufgelockert, dass es in die Spalten nachsackt und damit auch Oberflächenwasser und Grundwasser leichter im Kontaktbereich bis in das Salzstockwerk hinunter gelangen kann.



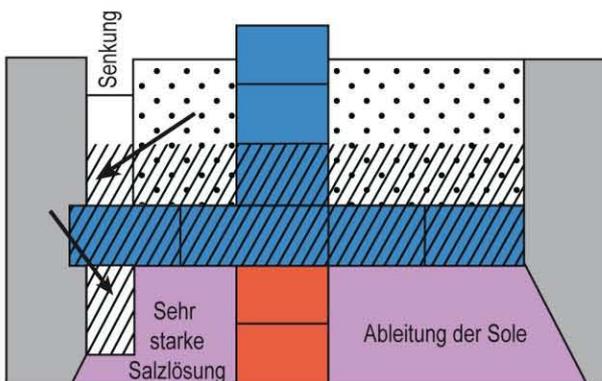
Ausgangszustand vor 1995



1995
in dem sehr feuchten Jahr 1995 steht Wasser viele Monate im Kalkberggrund, Grundwasser dringt in die obersten Schichten des Anhydrits.



1995/1996
der Winter ist sehr trocken, Klüfte beginnen im Kalkberggrund aufzureissen und weisen auf die Quellung von Anhydrit. Da der Kalkberg eine hohe Auflast darstellt, wird der Quellungsdruck in der Tiefe nach aussen geleitet und drückt auf die den Gipshut ummantelnden Gesteine, die kontinuierlich verschoben werden.



2002
Grundwasser kommt zunehmend in Kontakt mit den Salz, starke Salzlösung. Die Senkung verstärkt sich extrem. Es ist unklar wohin die Sole abgeführt wird, aber die Lösungsporen im Salz zeigen eindeutig, dass Sole gebildet wird und im Salz fließt.

Abb. 3.24: Profilartige Schemazeichnung der Auswirkungen einer Umwandlung von Anhydrit zu Gips in einem theoretischen Schnitt.

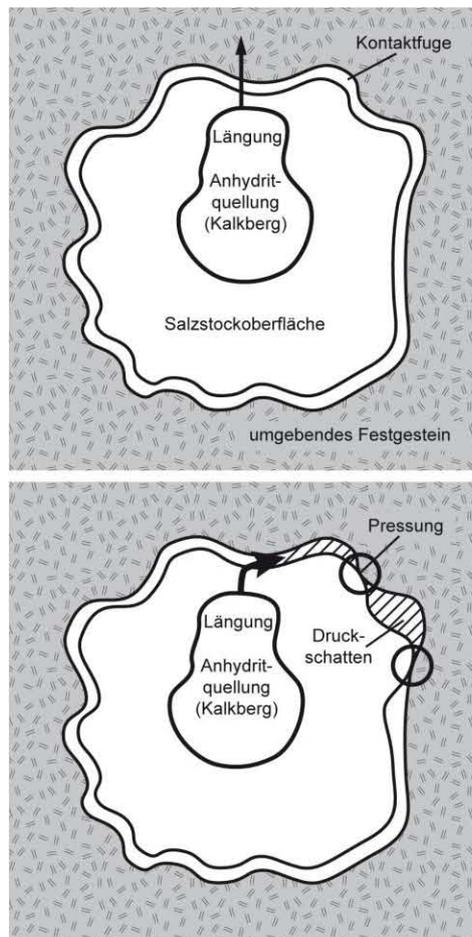


Abb. 3.25: Kartographische Schemazeichnung der Auswirkungen einer Umwandlung von Anhydrit zu Gips in einer Ebene.

Damit sind optimale Bedingungen für eine Auslaugung des Salzes gegeben, insbesondere wenn die Sole in den Klüften des Gipses vom Kontaktbereich aus immer weiter fließt. Auf diesem Weg, wie er in obiger Abbildung beschrieben ist, kommt es zu Rissen im Gipsstut, zu oberflächennahen Pressungen, aber auch zur Auflockerung des Sediments und starken Senkungen oder Erdfällen in der Kontaktzone. Grundwasser strömt von der Oberfläche in die Tiefe, wo neue Sole gebildet wird, die zu nochmals vermehrter Auslaugung führt. Dem folgt eine deutlich gesteigerte Senkung, falls die Sole in der Tiefe abgeführt werden kann. Als letzter Verstärkungsfaktor können dann die Salze in der Tiefe noch besonders stark löslich sein. In Abb. 3.9 wurde gezeigt, dass die Salze in der Bohrung am Ochtmisser Kirchsteig in 70 m kein dichtes Steinsalz ist, sondern eine Wechsellagerung von Salz und Feinsand. Darüber hinaus stehen diese Schichten steil. Wasser kann damit von oben mehrere Meter in das Salz eindringen und

viel mehr Salz lösen als wenn der Kontakt nur auf einer glatten Salzoberfläche ablaufen würde.

Nachfolgend wird nun ein vollständiges Szenario entworfen, was sich im Untergrund unter dem Ochtmisser Kirchsteig ereignet haben dürfte.

Ursachen der Senkung

Ein Zusammenhang zwischen Senkungen und Soleentnahme lag immer nahe. Der Nachweis, dass dies Ursache aller Erdbewegungen im Altstadtgebiet ist, steht bisher aus; umso vehementer wurde ein solcher Zusammenhang allerdings abgestritten. Noch in den 1950er Jahren hat die Presse jegliche Senkungen und Erdfälle verharmlosend nicht näher benannten „Senkungskobolden“ zugeschrieben (vergleiche hierzu Kapitel 2: Historische Entwicklung, Abb. 2.8). Der direkte ursächliche Zusammenhang zwischen Soleförderung und Senkung ist erst jetzt in der Rückschau erkennbar, nachdem die Saline ihre Soleförderung 1980 vollständig eingestellt hat.

So kann nun erstmalig genau verglichen werden, wie sich die Senkungen während der letzten 25 Jahre im Verhältnis zu denen der Nachkriegszeit entwickelt haben. Auffällig ist, dass sie seit Einstellung jeglicher kommerzieller Soleförderung im Altstadtgebiet soweit zurückgegangen sind, dass viele historische Häuser – vor allem durch das Engagement des Arbeitskreises Lüneburger Altstadt (ALA) – fachgerecht renoviert werden konnten und mit ihren Gauben, Giebeln und sorgfältiger handwerklicher Arbeit so manchen Straßenzug prägen (vergleiche hierzu Kapitel 2: Historische Entwicklung, Abb. 2.3).

Eine genaue Analyse aller verfügbaren geowissenschaftlichen Daten zeigt darüber hinaus, dass die gesamte topographische Struktur Lüneburgs als ein Abbild von Aufstieg und Ablaugung des Salzes zu begreifen ist. Das Gewässernetz, die Rohstoffvorkommen, die Verkehrswege und nicht zuletzt die gute Qualität des Grundwassers sind sämtlich an die Genese des Salzstocks gebunden. Daher gilt es zu zeigen, wie das Salz im Untergrund auch in der näheren und weiteren Zukunft die Bebauung der Stadt maßgeblich prägen wird.

Mögliche Ursachen der Senkungen am Ochtmissers Kirchsteig

Die Senkungen am Ochtmissers Kirchsteig sind die stärksten, die man überhaupt jemals in Lüneburg beobachtet hat. Anhand dieser Fallstudie lassen sich geologische Prozesse exemplarisch quantitativ erfassen. Die Zeitreihen der Senkung auf dem Michaelisfriedhof – entsprechend Typ 5 b in Abb. 3.17 – belegen deutlich, dass der Prozess im Jahr 1995 eingesetzt hat und seitdem mit konstanter Rate von etwa 30 mm/Jahr anhält. Somit liegt der Auslöser der Senkung in 1995. Während dieser Zeit stand der Kalkberggrund mehrere Monate unter Wasser. Dabei hat sich ein Teil dieses Wassers vermutlich langsam in die Tiefe des Gipsshutes gedrückt und dort den Anhydrit zum Quellen gebracht. Von diesem Prozess zeugen bis zu 8 m tiefe Risse, die sich nach Rückgang des Wassers im Sommer 1996 im Kalkberggrund zeigten (Abb. 3.26).



Abb. 3.26: Risse im anstehenden Gips des Kalkberggrunds, entstanden 1996 durch Anhydritquellung. Foto: F. Sirocko

Die Versatzrate beträgt in den Rissen im Mittel 50 cm/Jahr, und drückt in Richtung Norden, d.h. Richtung Ochtmissers Kirchsteig wo die Senkung auf dem Michaelisfriedhof mit 30 mm im Jahr 1996 schlagartig einsetzt (Abb. 3.17, Typ 6), was als erster Beleg für einen kausalen Zusammenhang zwischen Grundwasserzutritt zum Anhydrit und Einsetzen der Senkung gelten darf.

Die Wirkung der Längung des Anhydrits zeigt sich am dramatischsten am Ochtmisser Kirchsteig, wo im Zentrum der Senkung ab 2002 Werte von 30 cm/Jahr gemessen wurden. Die mit der Anhydritquellung stets verbundenen Pressungen und horizontalen Verschiebungen zeigen sich deutlich an der Verbiegung des Bürgersteigs am Ochtmisser Kirchsteig (Abb. 3.27); genau an dieser Stelle muss die Kontaktzone zwischen Salz und Mantelgestein verlaufen. Auf dieser Höhe liegt auch das Senkungszentrum, allerdings nicht unter der Straße sondern etwa 50 m östlich.



Abb. 3.27: Foto der Straße Ochtmisser Kirchsteig vom Oktober 2010 mit horizontaler Bewegungsrichtung, sichtbar an der Verbiegung des Bürgersteigs (Foto: Sirocko).

Dort zeigen mehrere Rammkernsondierungen eine deutliche Auflockerung der eiszeitlichen Decksedimente. Zuerst wurde von der Stadt vermutet, dass es sich um einen verdeckten großen Erdfall handeln könnte. Die Bohrungen OK1 und MF1 haben dann bewiesen, dass es keinen großen Hohlraum gibt – sehr wohl zeigen sich aber kleine Lösungsporen im Salz (Abb. 3.9).

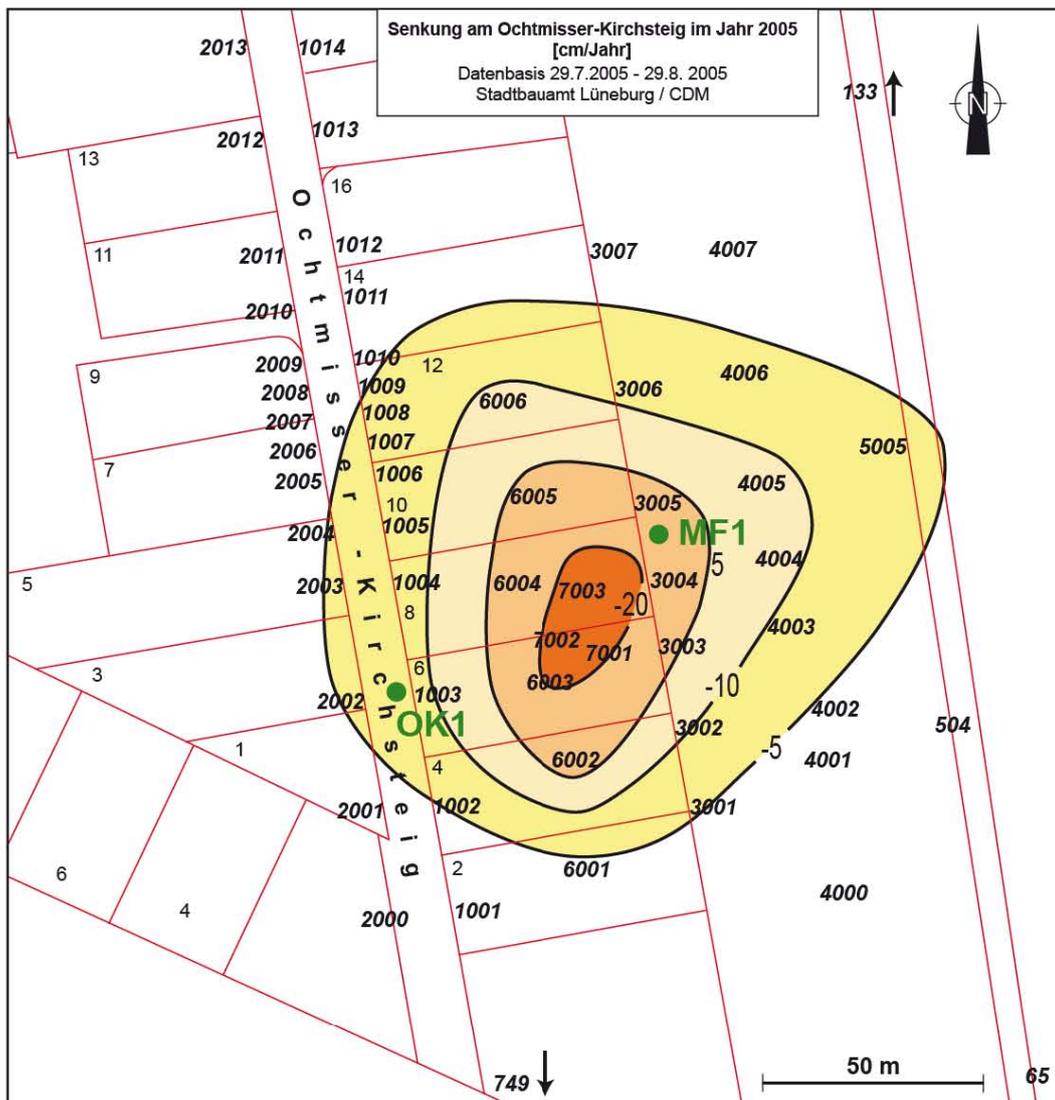


Abb. 3.28: Karte der Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig im Jahr 2005

Auch die kontinuierlich verlaufende Senkung mit hohen Beträgen zeigt, dass nicht ein bereits existierender Hohlraum zusammenbricht, sondern dass sich dieser Hohlraum gerade erst bildet. Dafür kann die Bildung und das Zusammendrücken der Lösungsporen eine Ursache sein, aber auch die kontinuierliche Quellung von Anhydrit zu Gips, die zu einem Druckschatten führen kann. Die Kontaktzone vom plastisch verformbaren Salzstock zum festen Umgebungsgestein verläuft nicht glatt und rund, sondern strukturiert (Abb. 3.25). Der nach Norden gerichtete Druck der Anhydritquellung trifft danach auf ein starres Hindernis und muss ausweichen – nach der Verbiegung des Bürgersteigs am Ochtmisser Kirchsteig (Abb. 3.27) zu urteilen dreht damit der Salzstock um einige Dezimeter nach Osten. Ein solches Drehen von Salzstöcken ist auch in der Erdölindustrie durchaus beobachtet worden. Durch die strukturierte Kontaktzone kommt es damit zu räumlich sich abwechselnden Gebieten

mit Pressungen – und dazwischen zu Druckschatten. In diesen Druckschatten wird das Erdreich aufgelockert, dadurch dringt Grundwasser leicht in die Tiefe, kommt in Kontakt mit dem Salz, löst das Salz. Kann die Sole jetzt noch abfließen (oder wird gefördert), läuft ständig frisches Wasser nach und verstärkt die sowieso schon vorhandene Senkungsbewegung.

In der aufgelockerten Kontaktzone versickert das von den Kreideberghöhen (Umgebung der Herderschule) anströmende Grundwasser, bis es in etwa 40 m Tiefe unter den Grundstücken Ochtmisser Kirchsteig auf die Oberfläche der Festgesteine trifft.

Lösungsporen (d.h. cm große Löcher in denen Salz weggelöst wurde) finden sich im Muschelkalk (vgl. Abb. 3.9 Tiefe 42,4m), im porösen, kristallinen Gips (vgl. Abb. 3.9 Tiefe 56,5 m) und auch im Salz (vgl. Abb. 3.9 Tiefe 75,5 und 76,5 m). Das Salz besteht in der Bohrung am Ochtmisser Kirchsteig aus steil stehenden Silt/Salz-Wechselagerungen. Die porösen Siltlagen ermöglichen ein extrem schnelles Eindringen von Frischwasser in das Salz, wobei die Lösungsintensität ungewöhnlich hoch ist. Damit überlagern sich vier Senkungsprozesse und können gemeinsam extrem hohe Senkungsraten verursachen, wie sie durch normale Salzablaugung nie entstehen könnten (Abb. 3.29).

Bei solch starken Pressungen sollte es generell auch Hebungen der Erdoberfläche geben. Tatsächlich ist der Bürgersteig am Ochtmisser Kirchsteig oberhalb der Verbiegung aufgewölbt und auch auf dem Michaelisfriedhof finden sich derartige Strukturen im Pflaster. Es sollte aber auch im gesamten Altstadtbereich zu Hebungen kommen. Tatsächlich befinden sich in der Senkungskarte des Jahres 2004 weite Teile der Altstadt in Hebung (rote Kreuze in Abb. 3.21). Der Kalkberg steigt zwar seit mindestens 30 Jahren in die Höhe, allerdings mit gleichbleibender Rate, die Hebung im Altstadtbereich ist aber neu. Offensichtlich hat die Anhydritquellung dazu geführt, dass heute die natürlichen Hebungsprozesse die menschengemachten Senkungsprozesse überholt haben.

Eine offene Frage in diesem geodynamischen System ist der Einfluss der heutigen Salzförderung. Wir haben oben gezeigt, dass der Kontakt zwischen Salz und Grundwasser durch einen einmaligen Quellungsvorgang im Jahr 1995 zustande kam (Abb. 3.29). In diesem Fall reagiert das Grundwasser mit dem Salz, bis eine Sättigung – d.h. ein 26%iger Salzgehalt – erreicht ist. Jetzt kann sich kein weiteres Salz mehr lösen, der Salzspiegel ist quasi versiegelt. Nur dann, wenn die Sole abfließt, kann neues

Grundwasser nachströmen und weiteres Salz lösen. An einem Förderschacht auf dem alten Salinengelände wird heute die Sole für das SALÜ entnommen, was sich immerhin auf 2000 bis 3000 Tonnen jährlich beläuft (vgl. Abb. 3.1). Die Entfernung vom Ochtmisser Kirchsteig zum Salinengelände beträgt nur etwa 800 Meter. Nach den Kernfotos in Abb. 3.9 läuft die Sole in Klüften, in denen die Fließgeschwindigkeit sehr hoch sein kann womit die 800 Meter zwischen Ochtmisser Kirchsteig und Salinen/SALÜ-Brunnen von der Sole in wenigen Tagen zurückgelegt werden könnten. Damit wäre die Senkung am Ochtmisser Kirchsteig dann zwar primär von der Anhydritquellung verursacht, sekundär allerdings unmittelbar an die Soleförderung gekoppelt. Eine offene Frage ist, ob die Sole den Zutritt des Niederschlagswassers zum Salz verhindern würde, und die Senkung zum Erliegen käme, wenn das SALÜ die Soleentnahme einstellen würde? Betrachten wir diese Möglichkeit über eine Massenbilanz.

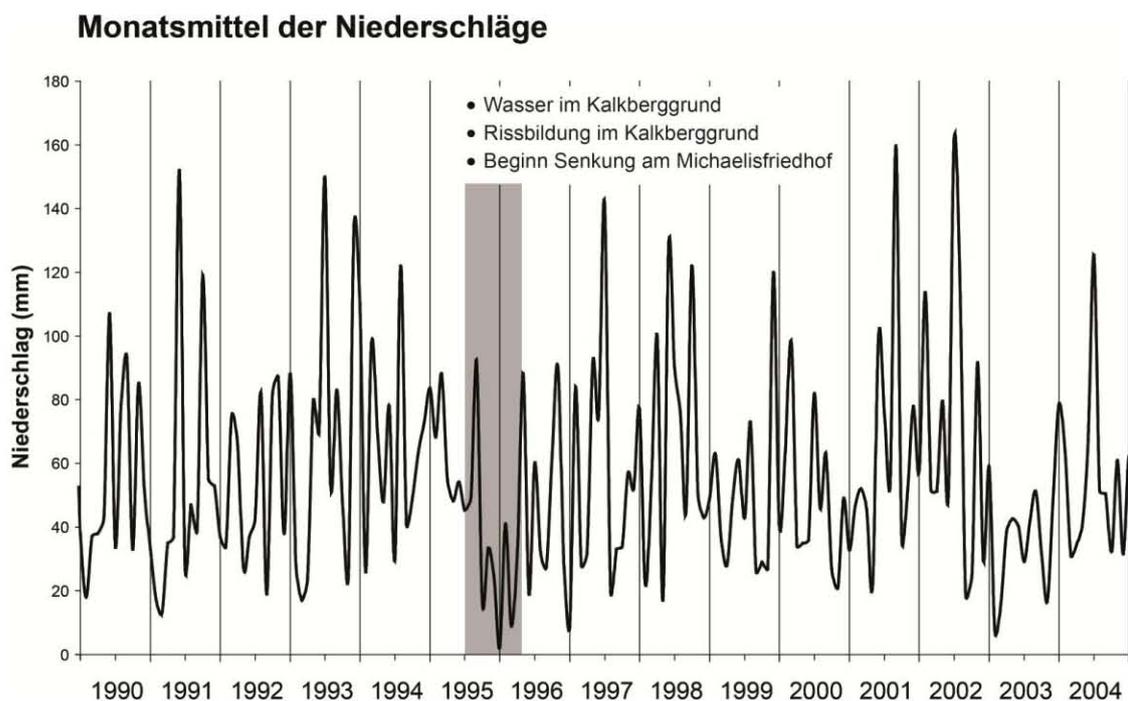


Abb. 3.29: Zeitreihe der Niederschläge in Lüneburg nach Messungen der Stadtverwaltung Lüneburg/Abt. Umwelt

Die mittlere Senkung liegt heute im übrigen Gebiet – ohne den Ochtmisser Kirchsteig – bei einem Wert von etwa 1mm/Jahr, dem auf einer Fläche von 1 km² ein Volumen von 1000 m³ (umgerechnet 2150 Tonnen) Trockensalz entspricht. Die extreme Senkung am

Ochtmisser Kirchsteig lässt sich auf ein Volumen von 1750 m³/Jahr, bzw. 3762 Tonnen Trockensalz berechnen, das ist deutlich mehr als im gesamten Stadtgebiet abgelaugt wird. Damit entspricht die in 2004 gemessene Senkung im gesamten Stadtgebiet einer Trockensalzmenge von 2150+1750=3900 Tonnen. Die gesamte Salzmasse, die durch das SALÜ entnommen wird, schwankt von Jahr zu Jahr, liegt aber immer zwischen 2000 und 4000 Tonnen. Damit entspricht die als Sole entnommene Salzmenge zumindest in der Größenordnung der Gesamtsenkung über die Altstadt mit allen Senkungszentren.

Diese grobe Massenbilanz ist noch keine beweiskräftige Aussage zur Ursache der auffallend starken punktuellen Senkungen, aber es zeigt, wie dringend ein Verständnis dieser Zusammenhänge notwendig ist und dass beobachtete Senkung und Soleförderung auch heute noch sehr dicht beieinander liegen. Das Senkungsproblem wird seit einigen Jahren von der Stadt von verschiedenen Gutachtern und Experten bearbeitet. Es wird sicherlich noch eine Weile dauern bis eine Gesamtinterpretation gefunden wird, die allen Teilbeobachtungen gerecht wird. Die Probleme am Ochtmisser Kirchsteig und in der Frommen Strasse finden ein sehr großes Interesse nicht nur bei der senkungsgeschädigten Öffentlichkeit. Bei den verschiedenen Aktivitäten und z.T. kontroversen Standpunkten und Interessen wird sich über die Jahre ein Bild herauskristallisieren. Dieser Artikel versucht einen kleinen Beitrag dazu zu liefern, indem es die verfügbaren geowissenschaftlichen Puzzlesteine zusammenträgt und der Öffentlichkeit zugänglich macht.

Mit dem weiteren Fortschreiten der Erkenntnis könnte die Stadt Lüneburg ihre seit 1000 Jahren praktizierte Politik einer Verharmlosung jeglicher Probleme mit der Salzentnahme endlich durchbrechen. Die Salzproduktion war in Mittelalter und Renaissance Grundstein für den Reichtum der Stadt und führte zu dem wunderschönen Stadtbild, das heute die Touristen in die Stadt zieht und damit wieder eine Quelle des Wohlstandes ist. Vielleicht kann dieser Artikel ja einen kleinen Beitrag dazu liefern, dass in kommenden Generationen schonungsvoller mit der Bausubstanz umgegangen wird und man sich in Zukunft immer klar macht: Soleförderung = Senkung!!

Allerdings muss dabei auch gesehen werden, dass heute die natürlichen Prozesse um die Anhydritquellung dominieren und Hebung und Pressung, die dann zu lokalen Druckschatten und starken Senkungen führt, die Herausforderungen kommender Jahre sein werden. Auseinander zu halten welche Erdbewegungen natürlich, und welche

anthropogen verursacht sind, ist nicht einfach, da die Prozesse gekoppelt sind. Ich hoffe aber, dass dieses Buch die Lüneburger Bürger ein wenig für die geowissenschaftliche Situation ihrer Stadt sensibilisiert und dass die obigen Ausführungen einen Weg aufzeigen, der irgendwann einmal beschritten wird und dann erlaubt, die grundlegenden Prozesse von natürlicher Hebung und anthropogen verursachter Senkung geodynamisch zu bilanzieren.

Literatur

ALA: Arbeitskreis Lüneburger Altstadt e.V. <http://www.alaev-lueneburg.de/>

Bicher, F. (1928). unveröffentlichtes Manuskript ohne Titel. Lüneburg: 514 S.

Bicher, F. (1957). Wissenschaftliches Gutachten über das Grundwasser und sein Einfluß auf die Lüneburger Senkungen und deren Ursachen und Gegenmaßnahmen. Lüneburg: 267 S.

Büchner (2001). Lüneburg TK 2728. Baugrundkarte, NLFB -Ingenieurgeologie- Hannover: Gebiete mit ungünstigen Baugrundverhältnissen.

Ferger, I. (1969). Lüneburg - Eine siedlungsgeographische Untersuchung. Bonn-Bad Godesberg, Selbstverlag.

Lamschus, H. and W. A. Hofmann (2000). verSALZen, verSENKT, beSTADTet. Lüneburg, Wulf Lüneburg.

Pleiß, H. and H. Welke (1959). Stadt auf dem Salz. Die Geheimnisse des Lüneburger Untergrundes. Lüneburg, Nordland-Druck.

Stoller, J. (1918). Geol. Führer durch die Lüneburger Heide. Braunschweig.