

Frank Sirocko



Lüneburg und das Salz



<http://www.lueneburg-und-das-salz.de>

Version 17.04.2012

Inhalt

Einleitung	6
Kapitel 1: Geologische Grundlagen	8
Perm: 296 – 251 Mio. J.v.h.	8
Trias: 251 – 200 Mio. J.v.h.	17
Jura: 200 – 142 Mio. J.v.h.	19
Kreide: 142 – 65 Mio. J.v.h.	21
Tertiär: 65 – 2,6 Mio. J.v.h.	22
Der Aufstieg des Lüneburger Salzstocks seit 15 Mio. J.v.h.	23
Die Eiszeiten der letzten 2,6 Mio. Jahre	25
Kapitel 2: Die mittelalterliche Hansestadt	27
Burg, Kloster und Stadt im 10. und 11. Jahrhundert	28
Salzmonopol und Backsteinbauten ab dem 12. Jahrhundert	30
Ausbau der Stadt und Salzproduktion der Saline im 13. Jahrhundert	32
Eintritt in die Hanse und Ausweitung des Salzhandels im 14. Jahrhundert	34
Krise und Höhepunkt der Stadtentwicklung im 15. Jahrhundert	35
Reformation und beginnende wirtschaftliche Stagnation im 16. Jahrhundert	36
Niedergang des Salzhandels im 17. und 18. Jahrhundert	37
Die Umbrüche des 19. Jahrhunderts – Industrieanlagen und erster Kurbetrieb	38
Kapitel 3: Senkungsschäden des 20. Jahrhunderts	43
Erdfälle	62
Kapitel 4: Zeitliche Entwicklung der Senkung	66
Horizontale Verschiebungen und Pressungen	75
Kapitel 5. Ursachen der Senkung	81
Mögliche Ursachen der Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig	81
Literatur	87
Anhang	88

Zusammenfassung

Der Salzstock Lüneburgs ist zwar nur klein, aber extrem dynamisch, denn nur drei von den weit über hundert Salzstöcken in Norddeutschland erreichen die Erdoberfläche – Sperenberg, Bad Segeberg und Lüneburg – und der höchste davon war wohl Lüneburg bevor der Kalkberg, der eigentlich ein Gips- und Anhydritberg ist, für den Bau der mittelalterlichen Stadt weitgehend abgetragen wurde.

Das Salz hatte sich ursprünglich einmal vor 300 Mio. Jahren in einem flachen Meeresbecken abgelagert. Diese Salzablagerungen sind schon im Buntsandstein vor 250 Mio. erstmals verformt worden, dann aber erst in den letzten 20 Mio. Jahren als Salzstock aus 5 km Tiefe empor gestiegen, letztendlich verursacht durch die nordwärts gerichtete Überschiebung der Alpen, die die Erdkruste Mitteleuropas unter Druck setzen. Wann der oberste Teil des aufsteigenden Salzes erstmalig die Erdoberfläche erreichte, ist unbekannt. Das Salz liegt heute 40 m unter der Oberfläche, nur ein Gipshut schaut heraus. Das aus Niederschlag gespeiste Grundwasser erreicht problemlos die Salzoberfläche, löst das Salz und bildet eine hochkonzentrierte Sole. Im Frühmittelalter, irgendwann vor 956 AD (Erstnennung der Soleförderung) wird die Sole gefunden, vermutlich nachdem extrem hohe Niederschläge den hydrostatischen Druck im Gips und den eiszeitlichen Sedimenten über dem Salz so stark erhöht hatten, dass die Sole kurzfristig einmal bis an die Oberfläche gedrückt wurde.

Mit dem Salzfund begann eine dynamische Entwicklung der Stadt, die vom 14. bis zum 16. Jahrhundert als Hansestadt großen Reichtum erwirtschaften konnte und noch heute ein wunderschönes mittelalterlich geprägtes Stadtbild hat. Was viele Besucher der Stadt heute aber nicht mehr wissen, es gab noch in den 50iger Jahren des letzten Jahrhunderts zweihundert historisch wertvolle Häuser, die in den sechziger und siebziger Jahren rücksichtslos abgerissen wurden. Die meisten dieser Häuser waren nach Senkungsschäden unbewohnbar geworden. Die Ursache der Senkung wurde damals den „Senkungskobolden“ und dem „Senkungsteufel“ zugeschrieben, an die allmächtige Saline und damit die Soleentnahme zu denken, wagte sich noch vor 50 Jahren nur der „Verein der Senkungsgeschädigten“ heran, die aber vor Gericht immer unterlagen. Zum großen Glück für die Stadt ging die Saline 1980 in Konkurs, und nur einige Jahre später war die Senkung flächendeckend erloschen. In diesem Buch wird nun erstmals nachgerechnet, dass die Massenbilanz zwischen Soleentnahme und

Senkung exakt aufgeht. Es war mit Sicherheit die Salzentnahme durch die Saline, die die Häuser vernichtet hat.

Im Jahre 1995 beginnt aber plötzlich die Senkung lokal auf dem Michaelisfriedhof wieder sehr heftig. Der Senkungstrichter weitet sich schnell aus und ab 2002 sind mehrere Häuser am naheliegenden Ochtmisser Kirchsteig stark geschädigt. Das Problem Senkung wird zum Politikum und verschiedenste Erklärungsansätze werden diskutiert. In dieser Diskussion wird nicht wahrgenommen, dass der Winter 1995/96 extrem trocken und kalt war und damit Frost tief in den Gipsberg eindrang, das Wasser dort vermutlich gefror und so durch Frostsprengung die Klüfte im Gipsberg vertiefte. Dadurch könnte Wasser tiefer in den Gipsberg hinein gekommen sein und in der Tiefe mit dem Anhydritgestein reagiert haben. Im Sommer 1996 steht dann plötzlich Wasser im Kalkberggrund; offensichtlich hat sich in der Tiefe etwas geändert, so dass das Wasser nicht mehr abfließt. Als das Wasser sich zurückzieht, werden lange, etwa 70 cm breite und mehrere Meter tiefe Spalten sichtbar. Das Aufreißen dieser Spalten und der Beginn der Senkung auf dem Michaelisfriedhof verlaufen exakt zeitgleich. Für den Geowissenschaftler ist der Zusammenhang offensichtlich, denn der Kalkberg besteht aus Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) und dieser Gips entsteht durch Wasseraufnahme aus Anhydrit (CaSO_4). Dieser Anhydrit ist in jedem norddeutschen Salzstock gegenwärtig und durchzieht als 1 Meter bis 100 Meter mächtiger Hauptanhydrit alle Salzstöcke. Der Kalkberg ist nichts anderes als eben dieser Hauptanhydrit, der in Lüneburg ganz oberflächennah vorkommt. Das Salz um den Anhydrit ist über die geologische Zeit durch das Grundwasser weggelöst worden, der wasserunlösliche Anhydrit reagiert aber nicht so schnell, sondern quillt langsam zu Gips und erfährt dabei eine Volumenvergrößerung auf das 1,6 fache. Dadurch baut er Druck auf, der nach oben (Aufstieg des Kalkbergs) aber auch seitlich abgegeben wird. Dieser Druck stößt am Rand des Salzstocks an das Umgebungsgestein und verursacht Pressungen und dadurch seitliche Verschiebungen. Gebäude auf diesen Verschiebungsbahnen werden verschoben (Michaeliskirche) oder im ungünstigen Fall sogar zusammengepresst, z.B. das Haus Frommestrasse 3, das 1933 abgerissen wurde, dessen Tor aber als „Tor zur Unterwelt“ noch heute erhalten ist und im Verlaufe der letzten 100 Jahre um etwa 1 m zusammengeschoben wurde. Der durch die Anhydritquellung ausgeübte Druck kann am Rand des Salzstockes nicht an das feste Umgebungsgestein weitergegeben werden. Das plastisch verformbare Salz kann aber ausweichen und der ganze Salzstock beginnt sich leicht zu drehen, schraubt sich also aus der Tiefe in die Höhe,

und dabei kommt es zu seitlichen Verschiebungen, die die Häuser, die auf diesen Verschiebungsbahnen stehen, zusammenpressen. Ist die Verschiebungsbahn aber nicht glatt sondern wellig und strukturiert, kommt es damit ebenfalls zu Senkungen in so genannten Druckschatten. In solchen Regionen ist der Untergrund stark aufgelockert und es können kurzfristig extreme Senkungsbeträge erreicht werden. Der Prozess des Hochschraubens verläuft aber nicht gleichförmig entlang der gesamten Salzstockflanke, sondern konzentriert sich für einige Jahre hier, springt irgendwann weiter und schlägt an anderer Stelle zu. Diese Sprunghaftigkeit ist in den 60iger Jahren wohl in den Begriff des „Senkungskobolds“ eingeflossen. Vor vielen Jahren lag ein Senkungszentrum z.B. bei Vier Orten, dann am Marienplatz, dann in der Frommestrasse, und jüngst am Ochtmisser Kirchsteig, aber immer genau am Rand des Salzstocks.

Erkundungsbohrungen der Stadt haben gezeigt, dass am Ochtmisser Kirchsteig in 70 m Tiefe ein ganz besonderes Salzgestein ansteht. Das Salz ist nicht massiv, sondern besteht aus einer Wechsellagerung von porösem Sand und Salz, dazu stehen diese Wechsellagerungen auch noch senkrecht, sodass das versickernde Grundwasser sehr leicht tief in das Salzgestein eindringen kann und die Effektivität der Lösung extrem erhöht. Sichtbarer Beweis, dass das Niederschlags-/Grundwasser die Ursache der Senkung darstellt, sind Lösungsporen im Salz zwischen 70 und 74 m unter dem Ochtmisser Kirchsteig.

Diese etwa 1 cm großen Hohlräume werden durch den Auflastdruck in dem plastisch verformbaren Salz relativ schnell zusammengedrückt und es kommt an der Erdoberfläche zu entsprechenden Senkungen. Damit kommen wir zu einem Prozess, der, wie wir aus der verhängnisvollen Geschichte der Saline wissen, nicht mehr natürlich ist, sondern vom Menschen gesteuert wird. Im Mittelalter wurde etwa 10.000 – 14.000 Tonnen Trockensalz pro Jahr gefördert. In den 30iger und 60iger Jahren des letzten Jahrhunderts erreichte die jährliche Förderung fast 40.000 Tonnen. Heute entnimmt die Salztherme Lüneburg (SALÜ) für den Betrieb des Solebades etwa 3000 Tonnen, viel weniger als vor Schließung der Saline, aber immer doch noch ein Viertel der mittelalterlichen Salzförderung. Die Frage stellt sich, wo kommt dieses Salz, das einem Volumen von etwa 10x10x10 Metern entspricht, her? Irgendwo muss dieses Salz ja abgelaugt worden sein. Die andere Frage ist, wohin fließt die Salzlösung, die die Lösungsporen unter dem Ochtmisser Kirchsteig verursacht hat? Dort beträgt das jährliche gesamte Senkungsvolumen ebenfalls etwa 10x10x10 m, d.h. entspricht etwa der Soleentnahme. Das kann Zufall sein – oder diese Prozesse sind miteinander

gekoppelt. Wir werden in diesem Buch keine Antwort darauf geben, aber es sollen zumindest die grundlegenden Daten präsentiert werden, damit eine sachbezogene Diskussion möglich wird. Im 21. Jahrhundert sollte es an der Zeit sein, die „Senkungskobolde“ zu begraben, und sich einer naturwissenschaftlichen Erforschung des Themenfeldes Salzaufstieg, Anhydritquellung, Pressung, Druckschattenbildung, Schichtung des Salzes, Niederschlag, Grundwasser, Salzlösung, Solentnahme, Senkung zu zuwenden.

Vielleicht führen die Probleme und Kosten im Umfeld des Ochtmisser Kirchsteigs und der Frommestrasse ja irgendwann doch einmal dazu, dass das Senkungsproblem ernsthaft erforscht wird, damit die wertvolle Bausubstanz der alten Hansestadt erhalten bleibt und die Bürger Lüneburgs einen realistischen Umgang mit den unausweichlichen Hebungs-, Pressungs- und Senkungsprozessen erfahren, die zum Teil auf natürliche Prozesse, aber u.U. auch heute noch auf die Soleentnahme zurückgehen könnten.

Vorbemerkung und Danksagung

An diesem Buch haben viele Personen indirekt z.T. schon vor vielen Jahren mitgewirkt. An erster Stelle möchte ich meinen Großvater Walter Bohnhorst nennen, der schon in meiner Kindheit die Freude an historischen und stadtgeschichtlichen Themen in mir geweckt hat. Mein Großonkel Ernst Bohnhorst hatte über seinen Freund Fritz Bicher, den Lüneburger Stadtgeometer in der Zeit von 1920-1960 Zugang zu den „geognostischen“ Gutachten Bichers. Originalkopien seiner Gutachten sind im Anhang dieser Publikation hiermit veröffentlicht. Vorher waren Sie nur der Stadtverwaltung, der Leitung der Saline und der Leitung der Betreiber der Kalkbrüche zugänglich. Diese Gutachten sind in den zwanziger und fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts entstanden; Fritz Bicher hat darin eine Vielzahl von Detailbeobachtungen zusammengetragen und damit eine wichtige Informationsquelle geschaffen - wenn auch die Interpretation mancher Prozesse aus dem heutigen Kenntnisstand der Geowissenschaften etwas anders gemacht würde. Die wichtigste Schlussfolgerung hatte Fritz Bicher aber vollständig richtig entwickelt und die könnten in einem Satz zusammengefasst werden: Wenn Regen in den tieferen Erdboden einsickert und mit dem Salzstock in Kontakt kommt, entsteht aus dem Niederschlagswasser und dem Steinsalz Sole. Entnimmt man die Sole, senkt sich die Oberfläche um den Betrag des

dabei gelösten Salzvolumens. Diese Aussagen Bichers wurden aber niemals ernst genommen, obwohl er der offizielle Sachverständige im damaligen Bauamt war. Seiner Theorie widersprechende Gutachten des damaligen Bergamts gingen davon aus, dass die Sole aus dem tiefen Untergrund stammt und vom Salzstock hochgepresst wird. Diese Erklärung war sicherlich sehr im Interesse des damaligen Salinenbetreibers, da die Senkungen damit von der Sofförderung getrennt waren und man die Ursache den „Senkungskobolden“ zuschreiben konnte.

Allerdings hat die Stadtverwaltung schon zu Zeiten Bichers damit begonnen, die Bewegungen der Erdoberfläche im Senkungsgebiet systematisch zu vermessen. Diese Daten reichen bis in die 50iger Jahre zurück und liefern die Grundlage für die Abbildungen in diesem Buch. Die Hansestadt Lüneburg hat diese Senkungsdaten und weitere hydrologische Daten zur Verfügung gestellt und immer eine offene und transparente Informationspolitik gepflegt. Allen daran beteiligten Mitarbeitern der Stadtverwaltung möchte ich sehr herzlich danken.

Die Karten im Kapitel über die geologischen Grundlagen basieren auf Rohdaten aus dem „Geotektonischen Atlas Nordwestdeutschlands“. Zugang zu den Originaldaten der Erdölindustrie erfolgte über ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Ich danke all den Kollegen, die über viele Jahre diese geodynamischen Diskussionen begleitet haben.

Die Karten wurden von Dr. Rouwen Lehne und Dr. Stephanie Grim in meiner Abteilung an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz wissenschaftlich erarbeitet. Die Bearbeitung der Bohrkerne vom Ochtmisser Kirchsteig und Michaelisfriedhof wurden im Rahmen der Diplomarbeit von Tobias Güth (2006) durchgeführt. Alle Abbildungen wurden von Petra Sigl graphisch gestaltet oder selbst gezeichnet. Saskia Rudert hat die Gutachten von Fritz Bicher in mühsamer Arbeit in einen publizierbaren Zustand gebracht. All diesen Kollegen möchte ich für die langjährige gute Zusammenarbeit und ihre spezielle Zuarbeit zu diesem Projekt sehr herzlich danken.

Einleitung

Lüneburg und der Rohstoff Salz sind ohne einander nicht zu denken. Der im Lauf der Zeiten gewachsene Salzstock im Untergrund bestimmte das Schicksal der Stadt, die sich heute als lebendig (Kultur), jung (Universität), sich vor allem aber durch ein geschlossenes historisches Stadtbild touristisch außerordentlich anziehend erscheint (Abb. 1.1.).

Inmitten von leicht welligem Terrain ragt der Lüneburger Kalkberg weithin sichtbar auf. Das Salz im Untergrund mit seiner Entstehungsgeschichte und den speziellen Eigenschaften, die aus dem geologischen Blickwinkel heraus verständlich werden, „bewegt“ die Stadt bis heute: Absenkungen, Erdfälle oder Pressungen verändern die Erdoberfläche und gefährden Bauten – ein unerschöpfliches, kontrovers diskutiertes Thema in Bevölkerung und Politik (Abb. 1.2.).

Salz – einst „weißes Gold“ genannt, heutzutage ein alltägliches Gut – ermöglichte in historischen Zeiten (Mittelalter, Renaissance) Lüneburgs Reichtum, dessen Abglanz uns heute in vielen Straßenzügen begegnet. Ein kurzer Gang durch die Geschichte der Hansestadt beleuchtet ihre historische Gewichtigkeit, wobei immer ein enger Bezug zur Rohstoffsituation hergestellt wird. Gerade das Salz ist für Lüneburg ein außerordentlich schwierig zu handhabender Bodenschatz; bedingt durch die spezifischen geologischen Gegebenheiten vor Ort.



Abb. 1.1.) Die wunderschöne Altstadt heute, Straße „Auf dem Meere“ (Foto: Rudert)



Abb. 1.2.) Typische Situation in der Altstadt in den 60iger Jahren des letzten Jahrhunderts (Foto: Pleß & Welke, 1959).

Weitere Schätze, die die Erde im Lauf ihrer Geschichte zur Verfügung gestellt hat, wie etwa Kreide, Kalk oder ganz aktuell Wasser, runden das Bild der geologischen Gegebenheiten im Raum Lüneburg ab. Ein Verständnis der Entstehungsprozesse mit ihren diversen Wechselwirkungen zum baulichen Geschehen ermöglicht erst eine adäquate Bewirtschaftung der verschiedenen Bodenvorkommen – heute und künftig.

Die parallele Betrachtung der Erd- und Stadtgeschichte Lüneburgs bietet eine Zusammenschau von dem, was eine Stadt blühen lässt, was sie aber auch gefährdet: nämlich unreflektierte Nutzung, die eben die speziellen Gegebenheiten nicht oder nur unzureichend kennt und einbezieht.

Kapitel 1: Geologische Grundlagen

Perm: 296 – 251 Mio. J.v.h.

Der Ursprung des Lüneburger Salzstocks (Abb. 1.3., 1.4) liegt 300 Mio. Jahre zurück im Perm, also im ausgehenden Erdaltertum (Abb. 1.5.). In dieser Zeitspanne beginnt die Einsenkung eines tiefen geologischen Beckens, das sich von Polen bis England erstreckt (Abb. 1.6.). Die ältesten Ablagerungen in diesem Becken (Sandsteine und Salze aus dem „Rotliegenden“ des unteren Perm) befinden sich heute in fünf bis zehn Kilometern Tiefe. Durch die kontinuierliche Absenkung verfüllt sich das Becken allmählich mit Sedimenten; über den Sandsteinen des Rotliegenden folgen insbesondere mächtige Salzablagerungen, darüber marine und terrestrische Sedimente der nachfolgenden Erdzeitperioden Trias, Jura, Kreide, Tertiär und Quartär (Abb. 1.5.). Diese mächtigen Beckenfüllungen wurden in mehreren Phasen vom Salz durchdrungen, da das Salz auf die Überlagerung plastisch reagiert, indem es sich an manchen Stellen sammelt und aufsteigt, oder aus anderen Bereichen regelrecht herausgepresst wird. Entlang von tektonischen Bruchzonen haben sich diese Aufwölbungen im Verlauf der Erdgeschichte zu großen Salzdiapiren oder Salzmauern entwickelt (Abb. 1.4., 1.7.), die meistens bis in eine Tiefe von einigen hundert Metern unterhalb der Erdoberfläche herauf gedrungen sind. Solche Salzdiapire sind ein weit verbreitetes Strukturelement des tieferen geologischen Untergrunds im gesamten norddeutschen Becken, wobei der Lüneburger Salzstock noch einer der sehr kleinen ist. Insgesamt gibt es zwar in Norddeutschland zahlreiche Salzkissen, Salzstöcke und Salzmauern, aber nur in Sperenberg, Bad Segeberg und Lüneburg reichen sie bis direkt an die Erdoberfläche hinauf.

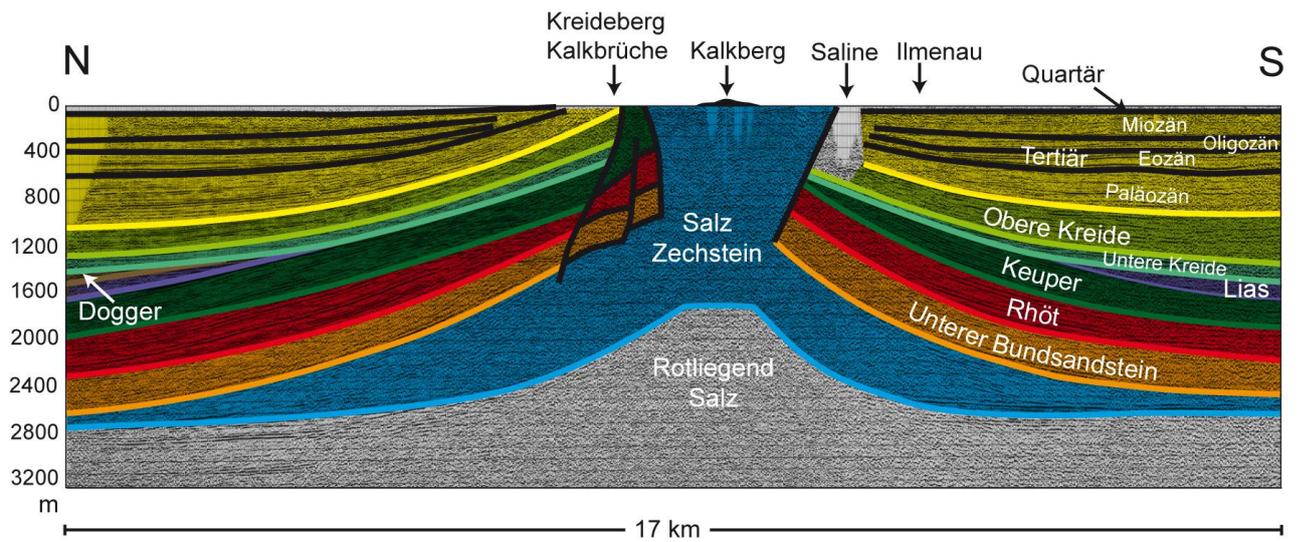


Abb. 1.3. Profil durch den Lüneburger Salzstock, nach seismischen Daten der Erdölindustrie

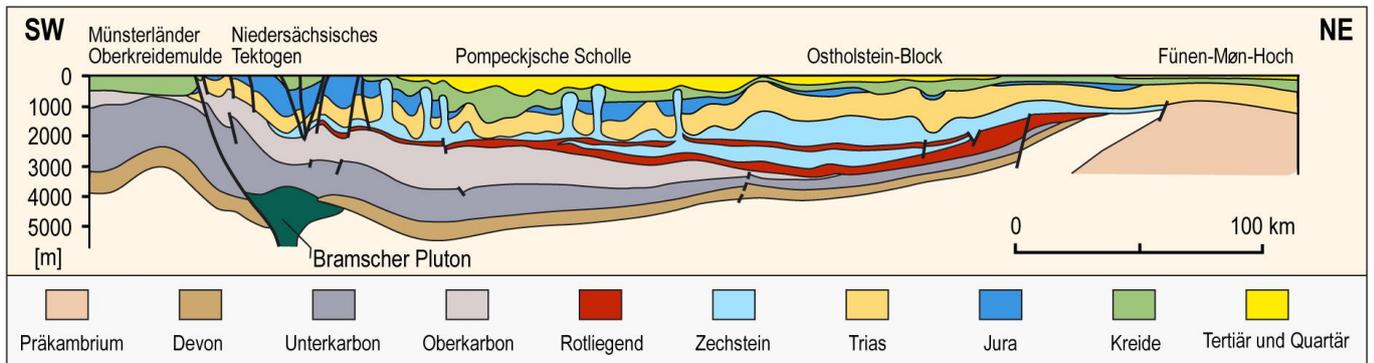
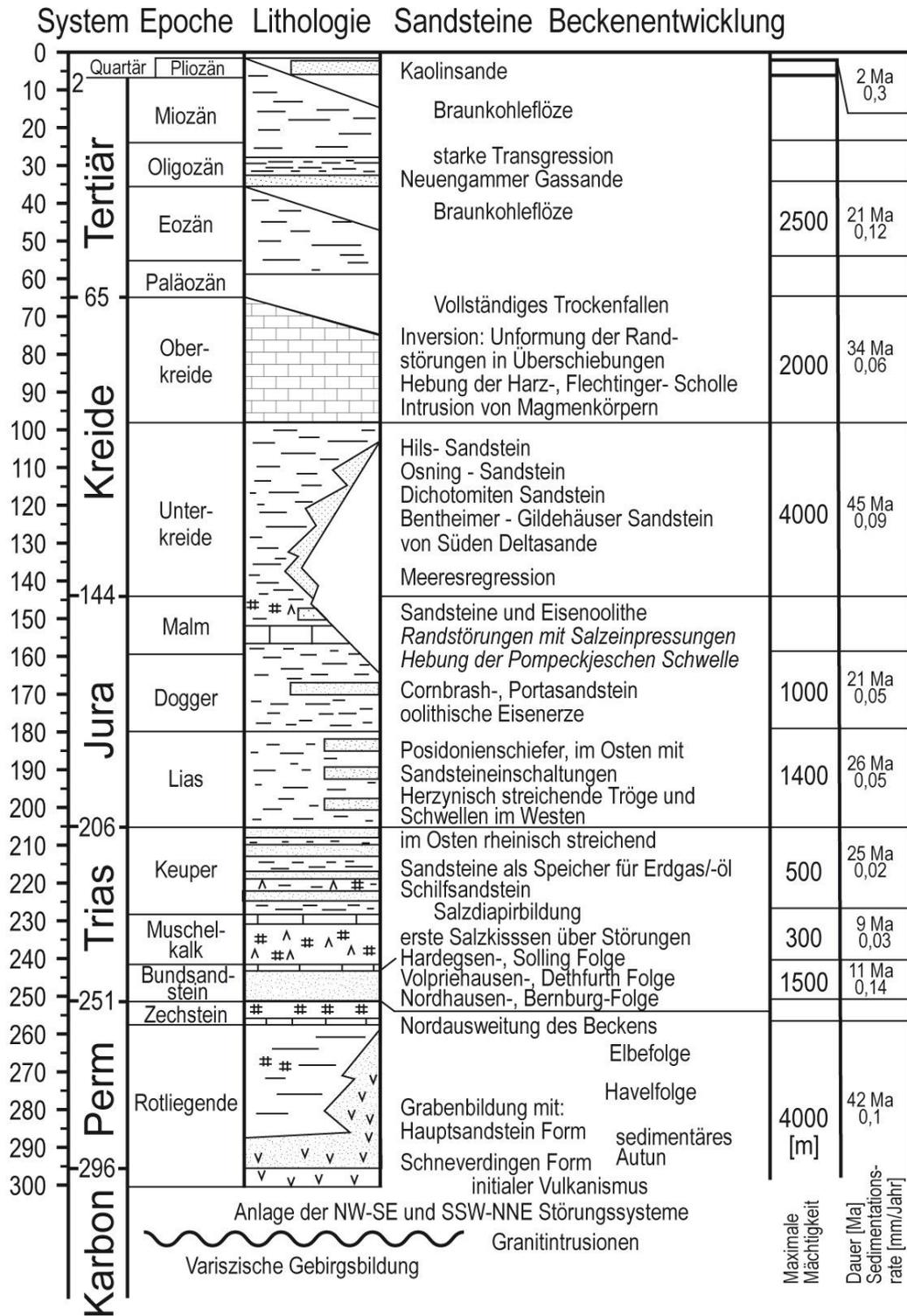


Abb. 1.4. Schematisches Nord-Süd-Profil durch das Norddeutsche Becken mit Salzstöcken und wichtigen geologischen Schichten, (Roth1853)

Entwicklung des norddeutschen Beckens



Lithologie und Beckenentwicklung nach Walter (1992)
Systemalter und -dauer nach Menning (1997)

Abb. 1.5. Zeittafel und typische Gesteine im Norddeutschen Becken

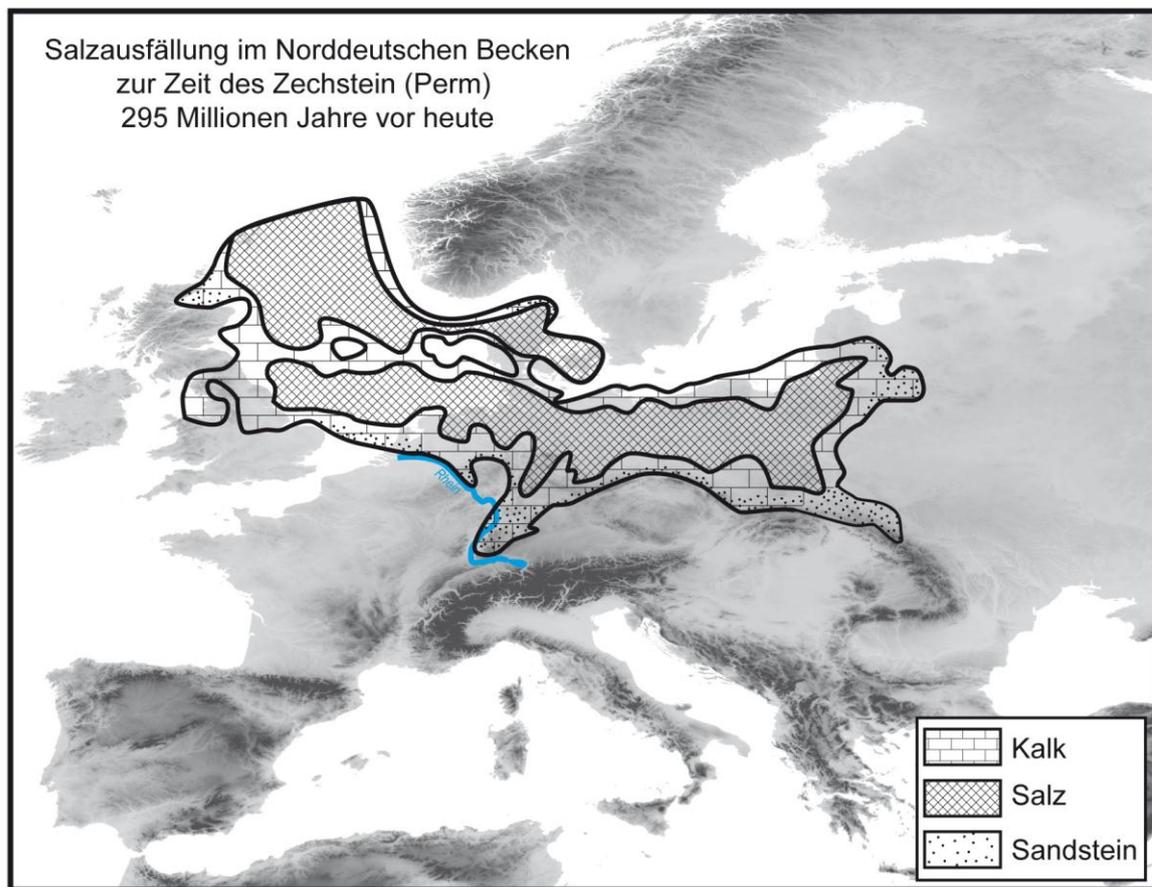


Abb. 1.6. Heutiges topographisches Geländemodell und Umriss des Beckens zur Zeit des Perm 300 – 250 Mio. Jahre vor heute (= J.v.h.)

Einen Einblick in die komplexe Erdgeschichte erhält man in Abb. 1.6., einem Geländemodell Norddeutschlands. Am Südrand des Beckens liegen die Mittelgebirge, im Norden die Landmassen Skandinaviens. Die großen Ströme und Flüsse Norddeutschlands scheinen vom Salz auf den ersten Blick unbeeinflusst. Bei genauem Hinschauen sieht man, dass sie aber doch nicht völlig frei mäandrieren, sondern scharfe Umbiegungen oder Knicke zeigen, die oftmals tektonischen Störungen im Erdinneren folgen (Sirocko et al. 2002). Die Anordnung der großen Salzmauern zeigt die gleichen Vorzugsrichtungen (NNW-SSW, NW-SE) wie sie auch im Netz der Flussläufe sichtbar sind. Gleichermäßen nehmen die Küstenlinien genau diese Richtungen immer wieder auf. Offensichtlich gibt es Prozesse, die aus der Tiefe bis an die Erdoberfläche wirken (Sirocko et al. 2008). Dies sind aber weniger die Salzstöcke selbst, sondern vielmehr tektonische Störungen, die aus dem Tiefsten des Beckens heute noch an die Erdoberfläche reichen und dort lokal zu Bewegungen führen können (Lehne & Sirocko 2010).

In den Vereisungsperioden der letzten 500.000 Jahre drangen aus Skandinavien große Inlandgletscher bis weit nach Nordeuropa vor. Ihre größte Ausdehnung besaßen sie zur Elster und Saale Eiszeit, als sie bis an die Mittelgebirge heranreichten, die Grenzen der Eisschilde sind in Abb.1.9. dargestellt. Ganz Norddeutschland lag damals unter einer 3000 m mächtigen Eisdecke begraben. Ablagerungen dieser Gletscher modellieren als Grundmoränen, Endmoränen und Schmelzwasserablagerungen die Landoberfläche, in die sich später – seit etwa 130.000 Jahren – Flussläufe eingeschnitten und ein Relief geprägt haben, das im Lüneburger Raum vor allem von den Endmoränen der Saale Eiszeit grundlegend gestaltet wurde und seitdem durch Erosion, aber auch lokale Hebungen und Senkungen seine heutige Form gewonnen hat. In der Situation Lüneburgs, mit seinem bis an die Oberfläche aufragenden Salzstock, spielt seit dem frühen Mittelalter darüber hinaus der Mensch mit durch die Soleförderung verursachten lokalen Senkungen eine wichtige Rolle. Die verschiedenen geodynamischen Prozesse von einer solchen anthropogenen Überprägung, auch wenn sie erst in – erdgeschichtlich betrachtet – jüngster Zeit einsetzt, zu unterscheiden, ist eines der wesentlichen Anliegen dieser Studie.

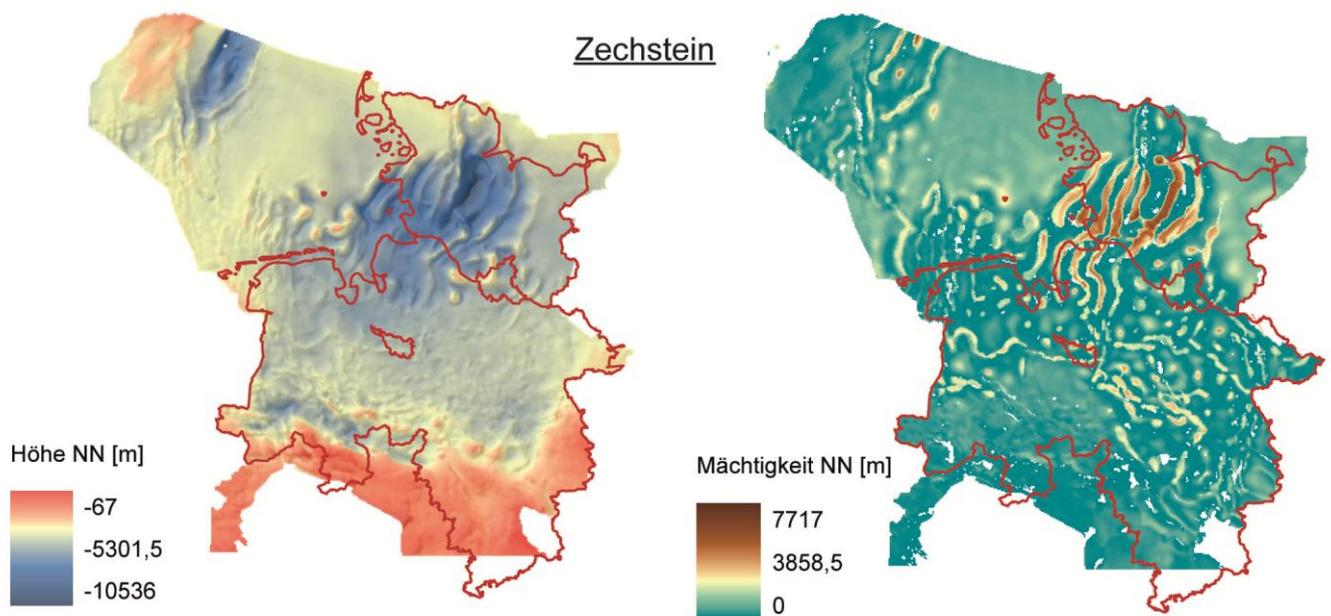


Abb. 1.7. Tiefenlage und Mächtigkeit der Zechsteinablagerungen, nach Geotektonischer Atlas NW-Deutschland (2001)

Schichtmächtigkeiten (in Metern)

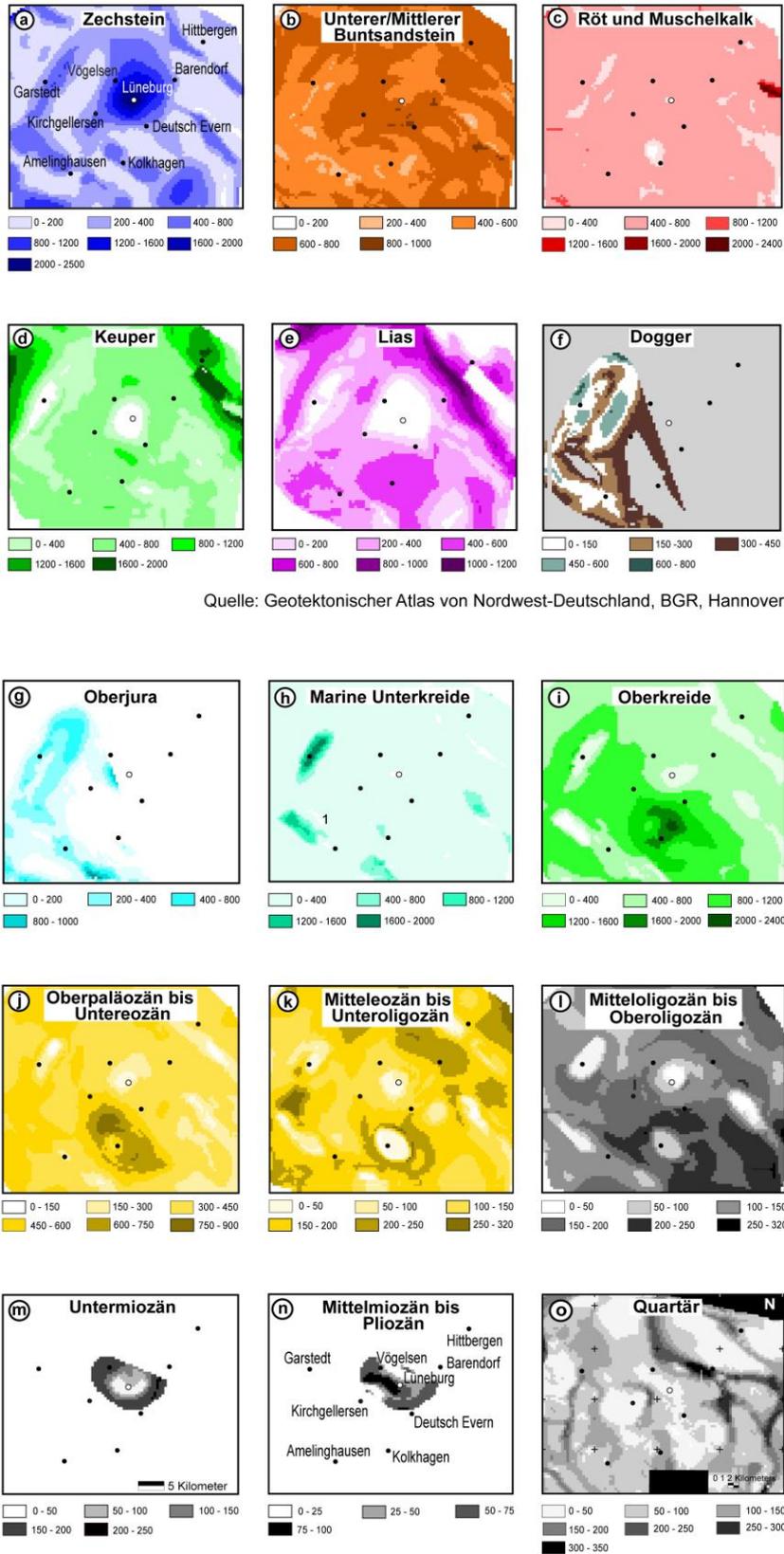


Abb. 1.8. Schichtmächtigkeiten der wichtigsten geologischen Formationen im Raum Lüneburg, nach Geotektonischer Atlas NW-Deutschland (2001)

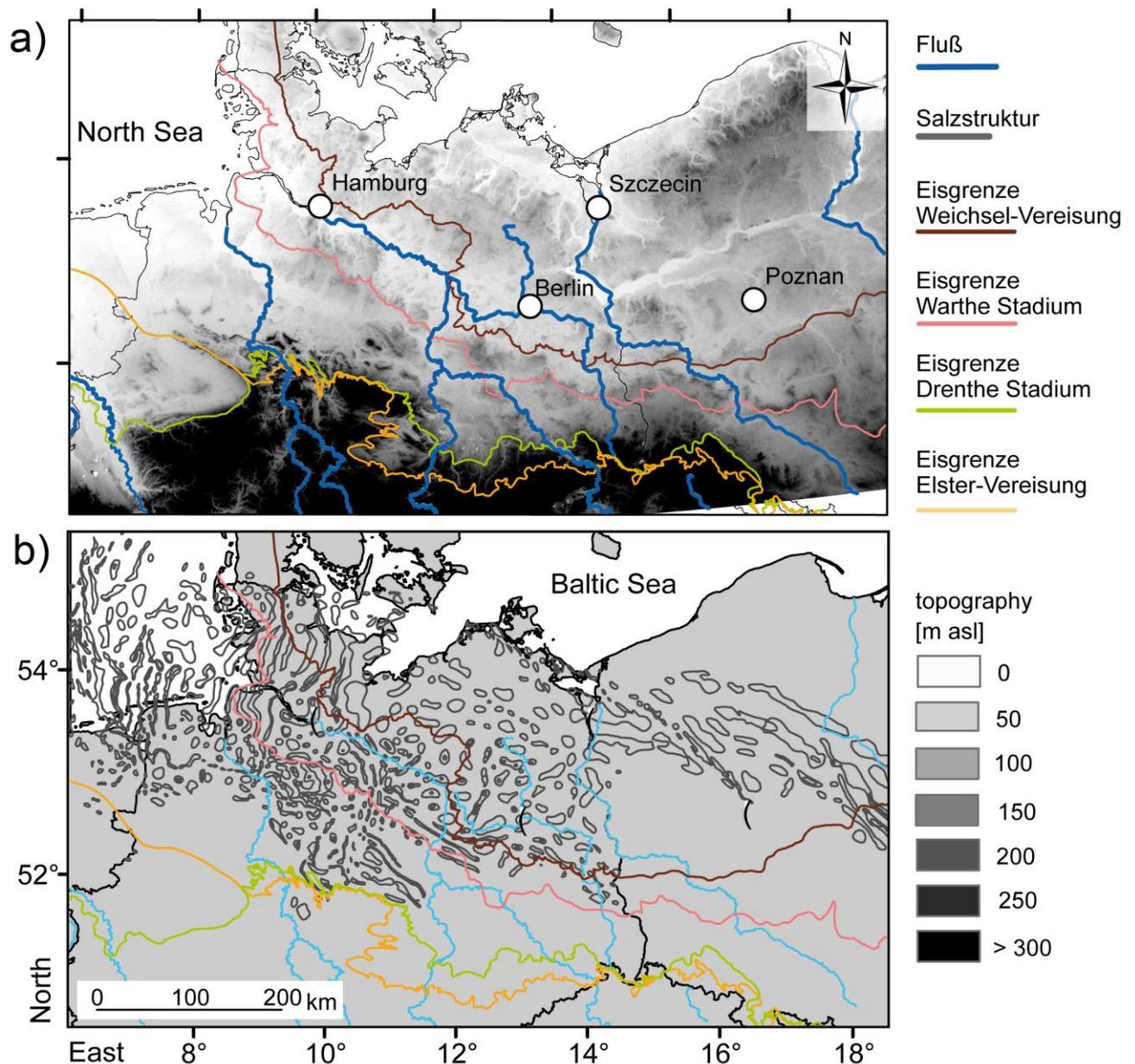


Abb. 1.9. Geländemodell Norddeutschlands mit Flüssen und Reichweite der Inlandgletscher während der Vereisungen im Quartär a) ohne Salzstöcke mit Eisrandlagen, b) mit Salzstöcken (Sirocko et al. 2008), Daten der Salzstockumrisse nach: Geotektonischer Atlas NW-Deutschlands (2001)

Das Phänomen des aufsteigenden Salzes hat damit bereits eine ebenso lange wie dynamische Entwicklung seit dem Eintiefen eines flachen permzeitlichen Meeresbeckens vor 300 Mio. Jahren hinter sich. Der Mittelpunkt dieser Absenkung liegt im heutigen Schleswig-Holstein, die Geschwindigkeit betrug damals etwa 0,1 mm/Jahr (vgl. Abb. 1.7.). Bewegungen dieser Größenordnung werden vom Menschen nicht

wahrgenommen, da im Verlauf eines Lebens gerade mal ein Versatz von 7 mm stattfindet. Auf langen geologischen Zeitskalen allerdings wirken Kräfte dieser Größenordnung erheblich; es kann sich ein Becken um 100 m in 1 Mio. Jahre senken oder bis zu 1 km in 10 Mio. Jahren. Die geodynamischen Ursachen hierfür sind meist mit plattentektonischen Prozessen verbunden, oftmals aber auch mit regionaler Erhitzung (Ausdehnung) oder Abkühlung der Erdkruste (Senkung).

Zunächst wird die Beckenfüllung mit Sedimenten beschrieben, um sowohl Entstehung als auch spezielle Zusammensetzung der Gesteine nachvollziehen zu können. In Abb. 1.7. zeigt die linke Seite die Tiefenlage der untersten Schichten des Perms, die rechte Seite die Mächtigkeit der permzeitlichen Ablagerungen. Basis für diese Tiefenlagen- und Mächtigkeitskarten sind seismische Daten aus der Erdölindustrie, die im Geotektonischen Atlas NW-Deutschland (2001) aufbereitet wurden.

Das im Perm entstandene Meeresbecken wurde damals von tropischen Klimabedingungen reguliert, wobei salzhaltiges Meerwasser langsam eindampfte, bis sich Kristalle bildeten, die dann auf den Grund sanken. Auch die Gewinnung von Speisesalz z.B. in Salzgärten des Mittelmeerraumes beruht auf demselben Prozess. Die Besonderheit des permzeitlichen Beckens liegt darin, dass über viele Millionen Jahre die mittlere Absinkrate ganz genau der mittleren Sedimentationsrate entsprochen hat, d.h. jedes Jahr setzten sich im Mittel 0,1 mm Salz ab und das Becken vertiefte sich gleichzeitig um 0,1 mm. Dadurch blieb die Wassertiefe über lange Zeiten hinweg konstant, so dass immer wieder neues Ozeanwasser in das Becken nachströmte, verdunstete, und die Mächtigkeit der Salzlager in mehreren Zyklen anwuchs.

Diese sogenannten Salzserien bestehen nicht nur aus reinem Steinsalz (NaCl), sondern auch aus den Mineralen Anhydrit (CaSO_4) und Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), die während des Eindampfens der Lösung noch vor dem Steinsalz zuerst ausfallen. Bei Eintrocknung von 100 m Meereswasser bilden sich über diesen Prozess etwa 7 cm Gips und 1,4 m Steinsalz. Solange durch zeitweise Erhöhung des Meeresspiegels (oder Absinken des Beckens) neues Meerwasser in das Becken einströmt, kann sich dieser Prozess ständig wiederholen und die Salzfolgen werden immer dicker. Auf diese Weise wuchsen die mächtigen Salzlager Norddeutschlands in einigen wenigen Millionen Jahren während des späten Perm heran. Der Lüneburger Salzstock besteht zwar hauptsächlich aus weißem Steinsalz, enthält allerdings auch erhebliche Anteile von Anhydrit und Gips, die heute beispielsweise auf dem Kalkberg unmittelbar an der Oberfläche anstehen.

Die ersten mächtigen Salzfolgen stammen aber schon aus dem frühen Perm, das als Rotliegend bezeichnet wird; sie bilden den Kern vieler norddeutscher Salzstöcke. Darauf folgen Salze aus dem oberen Perm, dem sog. Zechstein. Vor allem ihre Verformung während des Diapirauftriebs bestimmt das heutige Ausmaß der Salzsichten; im Fall des Lüneburger Salzstocks wird eine Mächtigkeit von mindestens 4,5 km erreicht (Abb. 1.10.). Im Lauf seiner Aufstiegsgeschichte ist das Salz aus einem Umkreis von etwa 10 km, d.h. von Deutsch Evern, Barendorf, Vögelsen und Kirchzellern, in das Zentrum des Aufstiegs gedrückt worden. Die Gebiete, in denen das Salz in der Tiefe abwanderte, zeigen immer nur minimale Schichtstärken. Die regionalen Salzbewegungen lassen sich in Abb. 1.8. ablesen, wo speziell für den Lüneburger Raum die Schichtmächtigkeiten im Detail dokumentiert sind.

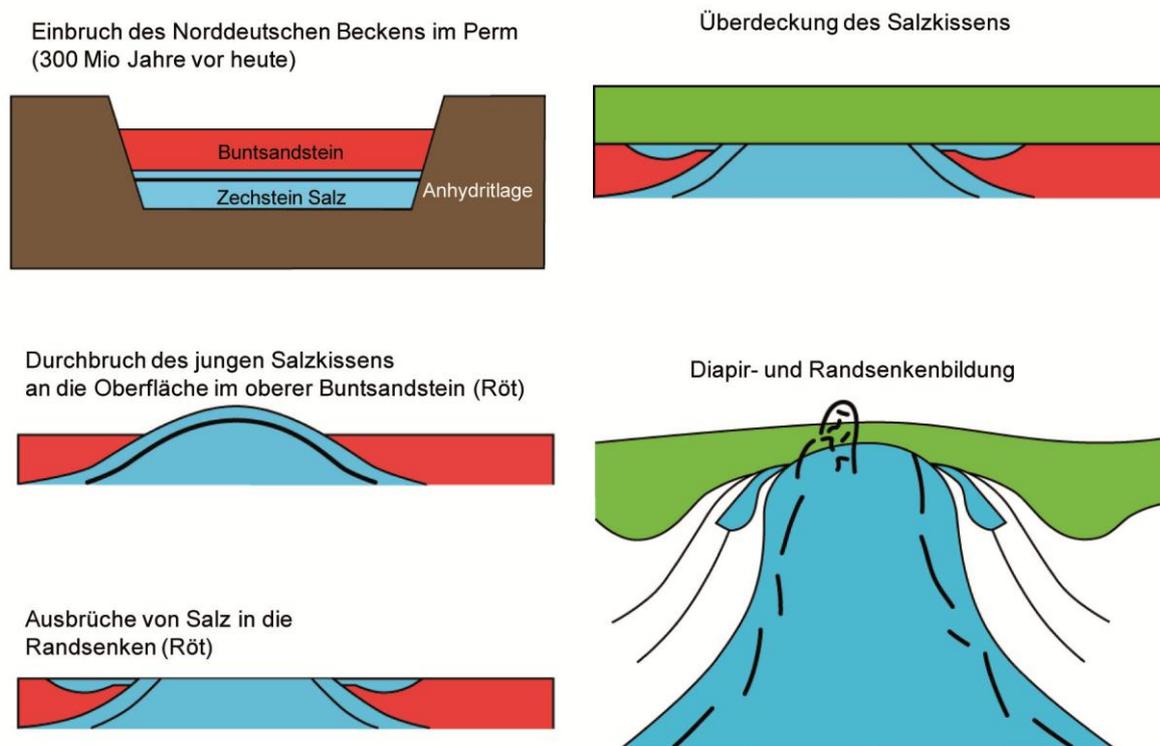


Abb. 1.10. Schemazeichnung der Salzstockentwicklung

Das aufsteigende Salz kann schließlich sogar die randlich angelagerten Schichten anheben und verstellen. Die Verteilung der Schichtmächtigkeiten um einen Salzstock herum zeigt insofern ein komplexes Bild von primären Unterschieden bei der Ablagerung in regionalen Becken am Salzstock (Abwanderung des Salzes) einerseits

und einer späteren Verstellung durch den Druck des aufsteigenden Salzes andererseits (Abb. 1.3., 1.8.). Diese miteinander gekoppelten Prozesse sind in dem seismischen Profil durch den Salzstock deutlich ablesbar (Abb. 1.3.), welches für die Suche nach Erdöl und Erdgas erstellt wurde. Es wird mit freundlicher Erlaubnis der Firma EMPG (Exxon Mobil Production GmbH) wiedergegeben.

Trias: 251 – 200 Mio. J.v.h.

Am Übergang in eine neue erdgeschichtliche Periode senkte sich der Meeresspiegel so weit ab, dass das einstige Flachwasserbecken austrocknete. Daraufhin konnten sich in der Trias erstmals terrestrische Ablagerungen bilden (vgl. Abb. 1.5.). In der ersten Phase der Trias (der sogenannten Buntsandstein Epoche) reichte ein großräumiges Flusssystem von Süden bis in den heutigen Nordseeraum hinein, dessen Ablagerungen, durch das damalige Klima bedingt, eine stark rote Färbung zeigen (ähnlich der heutigen Sahelzone, wo es ebenfalls rote Böden gibt); der sog. Buntsandstein war entstanden. Da das Becken im Laufe der Trias unaufhörlich kräftig absank, lagerten sich während der 6 Mio. Jahre andauernden Buntsandstein-Zeit immerhin etwa 1000 m rotfarbige Sand- und Tonsteine auf dem Salz ab.

Mit ihrer erheblichen Last drückten diese dann auf das darunterliegende Salzgestein, das sich schon jetzt, in der Trias, plastisch verformte, so dass sich entlang von tektonischen Störungen, die weit in die tiefere Erdkruste reichen, erste Salzkissen bildeten, in denen das Salz aus der Tiefe abwanderte und entlang der Störungen nach oben stieg (Abb. 1.4.). Regionale, kleinräumige Maxima erhöhter Schichtmächtigkeit im Buntsandstein (Abb. 1.8.) zeigen also eine allererste Mobilität des Salzes an, denn in den Senken um die Salzkissen und Diapire sedimentiert der Buntsandstein. Im Raum Lüneburgs findet sich Buntsandstein in konstanten Mächtigkeiten von 500 – 1000 m (Abb. 1.8.). Einen starken Aufstieg des Salzes kann es damals also noch nicht gegeben haben, sonst wären die Ablagerungen über dem Salzstock ausgedünnt. Dagegen lassen sich im Bereich des Salzstocks von Kolkhagen aus derselben Zeit schon definitiv erste Aufstiegsbewegungen nachweisen, da sowohl lokale Schichtmaxima (Senkung) als Schichtminima (Hebung) auftreten.

An vielen norddeutschen Salzstöcken hat das Salz sogar die Buntsandstein-Sedimente durchstoßen. Im Röt, der jüngsten Folge der Buntsandstein-Zeit, dürfte es wohl auch in

Lüneburg lokale Austritte von Salz aus der Erdoberfläche gegeben haben. Von mehreren Stellen Norddeutschlands wissen wir, dass Oberflächenwasser das aufdringende Salz gelöst hat, woraufhin sich kleine Salzseen um die Salzstöcke herum ausgebreitet haben. In diesen Seen sedimentierten dann die für das Röt typischen Wechselfolgen von rot gefärbtem Salz, Sand- und Tonsteinen, wie sie auch in Baugruben nördlich des Kalkbergs ebenso wie in den Feldern zwischen Mönchsgarten und dem Volgershall-Kalkbruch mehrfach beschrieben sind (Bicher, 1957). Röttone und Wechselfolgen von zentimetermächtigem rötlichem Salz und Sandstein hat man darüber hinaus am Ochtmisser Kirchsteig in 50 – 80 m Tiefe erbohrt (Abb. 3.9.).

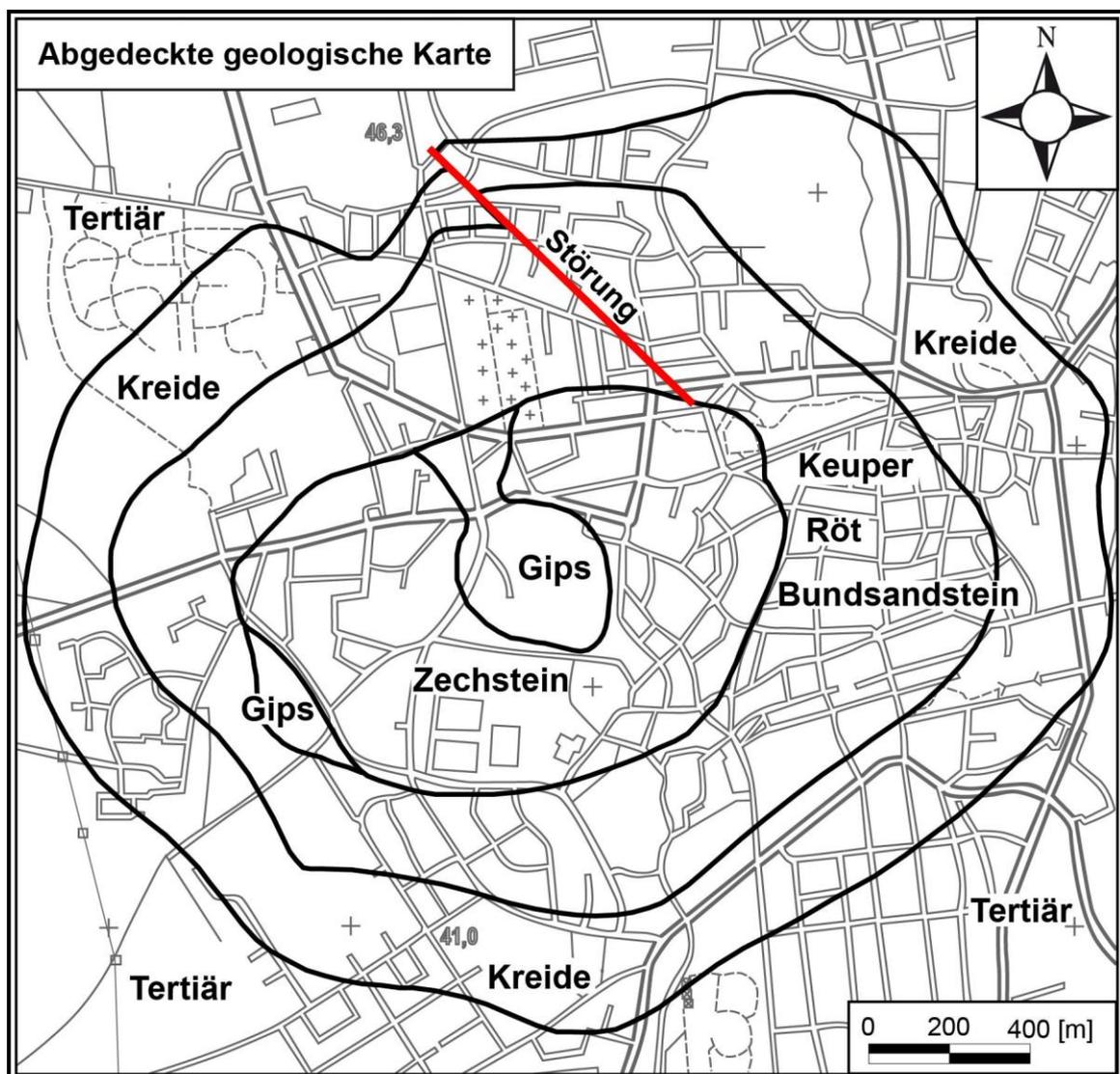


Abb. 1.11. Geologische Karte, nach Unterlagen von Bicher (1957), Ferger (1969) und Böhner (2001)

Nach der terrestrisch geprägten Zeit des Buntsandsteins steigt der Meeresspiegel erneut an, wodurch ein Flachmeer mit den typischen Kalk- (CaCO_3) und Dolomitablagerungen (Ca,MgCO_3) der Muschelkalk Epoche entsteht. In der am Nordrand des Salzstocks gelegenen tektonischen Scholle reichen solche Ablagerungen bis nah an die Oberfläche heran. Dieses am Kreideberg schon in wenigen Metern Tiefe anstehende Gestein wurde noch im 19. Jahrhundert als Baumaterial verwendet. Der Bohrkern OK1 (Abb. 3.10.) enthält Bruchstücke von Muschelkalk in 32-42 m Tiefe, wobei die genaue Mächtigkeit des Muschelkalks sich nicht bestimmen lässt, da diese Sedimente in allen seismischen Profilen nur zusammen mit dem oberen Buntsandstein kartiert werden.

Auf den Muschelkalk folgt der Keuper (235 – 200 Mio. J.v.h.) mit marinen Tonen, die eine Vertiefung des gesamten Norddeutschen Beckens anzeigen. Diese starke Absenkung erreichte vor allem in Schleswig-Holstein ein deutliches Maximum mit über 5000 m mächtigen Keupersedimenten. Im Großraum Lüneburg zeigt der Keuper eine etwa gleichbleibende Mächtigkeit von einigen hundert Metern, ist allerdings auf der südlichen Flanke des Salzstocks deutlich ausgedünnt (sichtbar im Profil der Abb. 1.3.). Dass die Keupersedimente im Lüneburger Raum auch Gips enthalten, ist ein Hinweis auf die lokale Bildung von Senken mit salzhaltigem Wasser, aus dem Gips ausgefallen ist. Folglich muss auch der Lüneburger Salzstock zu dieser Zeit erstmals mobil gewesen sein.

Die grauen Tone des Keupers sind heute an der südlichen Wand des Kalkbruchs Volgershall aufgeschlossen und durch wunderschöne fächerförmige Gipskristalle, die sich in dem weichen Ton gebildet haben, leicht zu identifizieren. Auch im Bohrkern vom Ochtmisser Kirchsteig werden Keupertone angeschnitten. Der Keuper keilt zum Zentrum des Salzstocks hin aus, entweder weil der Lüneburger Salzstock damals schon aufgestiegen ist oder weil dieses weiche und heute noch plastische Sediment über dem Hebungszenrum ausgequetscht wurde.

Jura: 200 – 142 Mio. J.v.h.

Im weiteren Verlauf des Erdmittelalters bilden sich im Norddeutschen Becken während des unteren Jura sowohl stark eingetiefte Tröge als auch Erhebungen in Form flacher Schwellen, die teilweise trocken fallen können (vgl. Abb. 1.8.). In den Trögen lagern

sich große Mengen feinkörnigen Sediments mit einem hohen Anteil an organischem Kohlenstoff ab. Im Beckentiefsten wird der Sauerstoff des Tiefenwassers sogar durch die Oxidation von Kohlenstoff aufgezehrt, so dass das Wasser anoxisch wird. Darüber hinaus werden diese Tiefen nicht mehr von frischem Meerwasser durchlüftet und es entsteht ein extrem lebensfeindliches Milieu mit der Ablagerung von Faulschlämmen, die bis zu 20% organischen Kohlenstoff enthalten. Solche Sedimente wandeln sich in den nachfolgenden Jahrillionen durch Veränderungen der Kohlenwasserstoffketten langsam zu Erdöl. Lüneburg muss in dieser Zeit allerdings auf einer Schwelle (vermutlich sogar auf einer Insel) gelegen haben, da es im Untergrund gar keine Sedimente des Lias (Epoche des Unteren Jura gibt (vgl. Abb. 1.8.)), weswegen man auch trotz intensiver Exploration kein Erdöl gefunden hat.

Sedimente des mittleren Jura (Dogger) fehlen im Raum Lüneburg ebenfalls (Abb. 1.8.f). Die Heraushebung der Schwellen intensiviert sich in dieser Zeit. Eine kräftige Meeresspiegelabsenkung vergrößert zudem die Landflächen, so dass nun hauptsächlich Flusssande in die Tröge gespült wurden. Solche Sande stellen wegen ihres hohen Porenvolumens ein besonders gutes Speichergestein dar. Der organische Kohlenstoff der Lias-Ablagerungen wird in den Sedimenten mobil, da sich schon bei Temperaturen ab 70°C flüssige Kohlenwasserstoffphasen bilden, die dann langsam als Erdöl durch den Porenraum der Sandsteine wandern, bis sie auf ein Hindernis stoßen, das ihre weitere Bewegung nach oben stoppt. Bremsende Wirkung haben dabei vor allem wasserundurchlässige Tone, die das Erdöl in nach oben abgedeckten Strukturen (sogenannten Erdölfallen) aufnehmen können. Im Lüneburger Raum fehlen aber sowohl das Erdölmuttergestein aus dem Lias als auch entsprechendes Speichergestein aus dem Dogger, so dass Erdölfunde nicht zu erwarten sind, auch wenn in der Stadtgeschichte immer wieder von einem kleinen Öl-Austritt zu lesen ist.

Sedimente des Oberjura (Malm) bestehen zum größten Teil aus Kalken oder Mergel (Gemisch von Ton, Sand, Kies und Kalk), die in Lüneburg ebenfalls fehlen (vgl. Abb. 1.8.) und auch in weiten Bereichen des Norddeutschen Beckens lediglich regional vorkommen. Im Süden Niedersachsens, am Rand der Mittelgebirge, erreichen die Mergel des Oberjura dagegen große Mächtigkeiten; diese Ablagerungen gehören aber geologisch eher zum Nordrand subtropischer Flachmeere aus dem Alpenraum. Im nördlichsten Teil des Norddeutschen Beckens entwickeln sich an der westlichen und östlichen Flanke langgestreckte, relativ kleinräumige Vertiefungen, die den Randsenken des dort aufsteigenden Salzes entsprechen. Viele Erdölvorkommen Schleswig-

Holsteins stehen in Bezug zu diesen Ablagerungen, denn in den abgeschnürten, sauerstoffarmen Becken überdauern große Teile der marinen Biomasse, die sich später unter Druck und Temperatur zu Erdöl umwandelt.

Kreide: 142 – 65 Mio. J.v.h.

Am Beginn der Unterkreide steigt der Meeresspiegel weltweit an, wobei auch das Norddeutsche Becken erneut vollständig überspült wird (vgl. Abb. 1.5.). Sande, Mergel und Tone dokumentieren dieses Flachmeer, dessen Ablagerungen in Lüneburg stattliche 400 m Mächtigkeit erreichen können (vgl. Abb. 1.8.h). Selbst die Schwellen über den Salzstöcken werden nun geflutet. Die nächsten Küstenregionen liegen weit entfernt, so dass sich sehr feinkörnige Sedimente – vor allem Tone – ablagern. Die porösen Sandsteine des Dogger hat der kontinuierliche Salzaufstieg deutlich verkippt und sie werden von tonigen Sedimenten der Unterkreide nach oben hin versiegelt. Der Anstieg des Meeresspiegels führt damit zu einer Abdeckung der doggerzeitlichen Sandstein-Speichergesteine und ist eine der wichtigsten Grundlagen für die spätere Bildung von Erdöllagerstätten.

Während der Oberkreide bleibt es in dem Becken relativ ruhig bei global hohem Meeresspiegel. Vorzufinden ist also ein am Rand des Ozeans gelegenes Meer mit nahezu einheitlicher Wassertiefe, in dessen Oberflächenwasser kalkbildende und für tropische Meere typische Algen (Coccolithophoriden) lebten. Die Reste dieser Organismen bilden am Boden des Nebenmeeres große Mengen eines weißen Gesteines, das Kreide genannt wird und in früheren Zeiten auch tatsächlich als Schreibkreide diente. Verwendet wurde die Kreide jedoch vor allem zur Gewinnung von Düngekalk, aber auch zur Zementherstellung. In diesen Sedimenten finden sich häufig Lagen oder Knollen von Feuerstein, der sich aus Skelettresten von kieseligen (d.h. aus SiO_2 bestehenden) Diatomeen und Schwämmen gebildet hat. Feuersteine sind ganz typisch für Kreidesedimente, da die filigranen Diatomeenskelette nach gemeinsamer Ablagerung mit den kalkschaligen Coccolithophoridenschalen durch Grundwasser mit basischem pH-Wert aufgelöst werden und dann das Siliziumoxid in Strukturen wie Knollen oder Lagen wieder ausfallen kann.

Solche Oberkreidesedimente sind im Randgebiet Lüneburgs bis zu einer Mächtigkeit von 400 m zu finden, so dass man sie bis in die 1960er Jahre hinein in den Kalkbrüchen

Volgershall, Kreideberg und am Städtischen Krankenhaus in großen Tagesaufschlüssen abgebaut hat, zumal sie dort oberflächennah anstanden (vgl. Abb. 1.12.); sie gaben auch dem Stadtgebiet „Kreideberg“ seinen Namen. Im Bereich des Kalkbruchs von Kolkhagen im Süden Lüneburgs erreichen diese Sedimente sogar bis zu 2400 m Mächtigkeit (Abb. 1.8.), da sich der dort liegende Salzstock offensichtlich schon in der Kreide zu heben begann, wobei sich eine besonders kräftige Randsenke ausbildete, die dann im Lauf der Zeit mit Ablagerungen verfüllt wurde.

Tertiär: 65 – 2,6 Mio. J.v.h.

Die nächste Epoche der Erdgeschichte beginnt mit einem radikalen Wandel, denn die beachtliche Absenkung des globalen Meeresspiegels um 100 bis 200 Meter am Ende der Kreide verändert das Sedimentationsgeschehen völlig. Die Ablagerungen im Norddeutschen Becken sind wieder deutlich von kontinentalem (terrestrischem) Einfluss geprägt und setzen sich vor allem aus Sanden zusammen, die von Flüssen in ein Flachmeer transportiert werden, dessen Zentrum im Bereich der heutigen Nordsee liegt.

Im frühen Tertiär beginnt zugleich die Hauptaufaltungsphase der Alpen, d.h. die gesamte europäische Platte steht unter einem von Süden her wirkenden Druck, auf den die Salzstöcke des Nordens mit plastischer Verformung reagieren. Folglich zeigen alle im Tertiär ihre stärksten Hebungsraten. Als Ausgleich für den Massenverlust in der Tiefe brechen um die Salzstöcke herum starke Randsenken ein, die aber oft von Sanden schnell zu sedimentiert werden. Teilweise verflachen die Senken so stark, dass Sümpfe mit Torfablagerungen entstehen, aus denen sich später – unter erneutem Auflastdruck – schließlich Braunkohlensande bilden konnten, die heute in etwa 200 m Tiefe liegen und das Speichergestein für das hervorragende Lüneburger Trinkwasser bilden.

In den Verbreitungskarten der Schichtmächtigkeiten erreichen beispielsweise allein die Sedimente des Oberpaläozäns (Stufe des Tertiärs, Abb. 1.8.) eine beachtliche Stärke von 300 m. Also ist davon auszugehen, dass auch der Aufstieg des Lüneburger Salzstocks schon im Paläozän begann. Der Salzstock von Kolkhagen drückt in dieser Zeit schon extrem schnell an die Oberfläche und es bildet sich eine tiefe Randsenke aus, die über das gesamte Tertiär aktiv war. Der obere Teil des Salzstocks von Kolkhagen dürfte damals als Insel aus dem Flachmeer heraus geragt haben. Der

Hauptaufstieg des Lüneburger Salzstocks beginnt erst später im Miozän (15 – 5 Mio. J.v.h.). Dabei bilden sich auch hier deutliche Randsenken, die Schichtmächtigkeiten erreichen 250 m. Da das gesamte Umland inzwischen trocken gefallen war, konnten sich hier keine Sedimente mehr ablagern; eine Situation, die auch im Pliozän das Bild beherrscht (vgl. Abb. 1.8.).

Der Aufstieg des Lüneburger Salzstocks seit 15 Mio. J.v.h.

Eigentlich besteht der Kalkberg aus Gips und müsste daher auch konsequenterweise Gipsberg heißen. Gips (CaSO_4) lagerte sich im Zechstein in Wechselfolgen mit Salz ab und ist genauso in jedem anderen Salzstock Norddeutschlands vorhanden. Dringt ein Salzstock beim Aufstieg bis in das Grundwasserstockwerk (die obersten 400 m) vor, wird das Salz gelöst und über das Grundwasser abgeführt. Zurück bleiben Reste des Gipses, die als oberste Deckschicht auf dem Salz liegen. Sie heißen ganz anschaulich Gipshut und sind von zahlreichen Hohlräumen durchzogen, da eben das Salz zwischen den verstürzten Gipslagen weggelöst wurde. Der Lüneburger Kalkberg stellt die oberste Spitze eines Gipshutes dar und die mannshohen Höhlen im Kalkberggrund zeigen, wie stark ausgeprägt die Klüftigkeit dieses Gesteins sein kann. Lüneburg ist einer von drei Salzstöcken in Norddeutschland, dessen Gipshut tatsächlich durch die jüngsten eiszeitlichen Lockersedimente hindurchragt.

Um das Geschehen am Salzstock nachvollziehen zu können, wird die Verteilung der Sedimentgesteine unmittelbar unter den eiszeitlichen Schichten, d.h. in 10 – 40 m Tiefe unter der Erdoberfläche, beschrieben. Eine Karte der Gesteine unter den quartärzeitlichen Deckschichten erstellte erstmals Keilhack anlässlich der preußischen Landesaufnahme im Jahr 1899, sie wurde im Lauf des letzten Jahrhunderts stetig verfeinert (Keilhack, 1912, 1921). Wirklich detailliert ist zuerst Bichers Karte von 1928, die seinem ersten Gutachten zur Stadtgeschichte dann wieder 1957 seinem zweiten Gutachten beigegeben ist. Beide Originalgutachten sind als Anlage zu diesem Buch über das Internet verfügbar. Darauf aufbauend präsentieren Schmidek (1958) und Ferger (1969) ihre grundlegenden Karten, die bis heute fast unverändert am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung erscheinen (Büchner, 2001). Abb. 1.11. zeigt die Schichtgrenzen nach der Originalkarte von Bicher (1928).

Rings um den zentralen Gipshut des Kalkbergs liegen Zechsteinsalze, auf denen sich heute Altstadt und Sülzwiesen befinden. Auf seiner Oberfläche und auch auf den Flanken ist dieses Salz in den obersten 400 m noch einmal von Gips umgeben, der daher Mantelgips heißt (zur Unterscheidung vom Gipshut). Dieser Mantelgips reicht im Schildstein sogar bis an die Erdoberfläche heran, während er unter der Saline in 14 m Tiefe ansteht und nur von eiszeitlichen Sanden bedeckt ist.

In der weiteren Umgebung um den Salzstockkern schließen sich die beim Aufstieg aufgestellten Schichten aus den verschiedenen Erdzeiten an. Insbesondere Röttone aus dem Buntsandstein dichten den Salzkörper nach außen hin rundherum ab. Diese Gesteine liegen in nur wenigen Metern Tiefe im Bereich der Innenstadt zwischen Am Sande und Markt, aber auch im Norden im Bereich Mönchsgarten, im Osten sowie im Süden in der Nähe des Theaters. Über den Röttonen folgt fast unmittelbar, nur durch einige Meter Muschelkalk getrennt, der graue Keuperton, der noch heute im Südteil des schon erwähnten Kalkbruchs Volgershall ansteht.

Dieser weiche, plastische Ton ist insbesondere im Nordosten der Stadt häufig beschrieben worden, er findet sich etwa auch unter dem Turm der Johanniskirche (Abb 2.1.). So ist nach wie vor offen, zu welchen Teilen dieser problematische Baugrund, 40 m unter den eiszeitlichen Sanden, für die Schiefstellung des Johanniskirchturms mitverantwortlich sein könnte. Ein baugeschichtliches Gutachten weist jedenfalls die Reste eines Vorgängerbaus der heutigen Kirche, die sich unter dem Turm befinden, als Ursache für unterschiedliche Erdbewegungen unter Turm und Kirchenschiff aus. Das Schiff der Johanniskirche steht der geologischen Karte zufolge schon eindeutig auf festem Kreidekalk, der Turm aber auf dem plastisch reagierenden Keuperton (Abb. 2.1.).

Das Kreidegestein zieht sich außen um die gesamte Stadt herum; seine Schichten sind geologisch intensiv untersucht, da man eben die Kreide früher bergmännisch abgebaut hat. In den Kalkbrüchen Volgershall und Kreidebergsee sind Aufschlüsse dieses Gesteins heute noch immer zugänglich. Einen großen Kalkbruch gab es darüber hinaus vor dem städtischen Krankenhaus, der aber nach dem Krieg zugeschüttet wurde und heute als Parkplatz dient. Die Abb. 1.12. zeigt historische Fotos dieser etwa 30 m tiefen Tagebaue. Die Kenntnisse für die Erstellung der oben erwähnten Karten stammen vor allem aus Bohrungen, die anlässlich einer Prospektion auf diesen Kalk unternommen wurden. Den Kreidekalk hat man zu Dünger verarbeitet, bzw. bis um 1960 zur

Zementherstellung verwendet. Damals wurden die Wasserpumpen, um die Tagebaue trocken zu halten, abgestellt und die tiefen Löcher wurden vom Grundwasser geflutet.

Die Eiszeiten der letzten 2,6 Mio. Jahre

Die Oberfläche Norddeutschlands ist vor allem durch eiszeitliche Sedimente geformt worden (Abb. 1.9.). Im Verlauf einer kontinuierlichen Abkühlung vor etwa 38 Mio. J.v.h. lagen zuerst die Antarktis und ab 2,6 Mio. J.v.h. auch Grönland, Nordamerika und Skandinavien unter Decken von Inlandeisen, die bis zu 3 km mächtig waren.

Unmittelbare Auswirkungen auf Lüneburg gibt es jedoch erst, als der skandinavische Inlandgletscher erstmals bis nach Norddeutschland vorrückt, wobei er Findlinge, Geschiebe und Schmelzwasser mitbrachte. Dieser erste Gletschervorstoß geschah vor etwa 400.000 Jahren und erreichte die Mittelgebirge während der sogenannten Elster Eiszeit. In der Saale Eiszeit von etwa 160.000 – 130.000 Jahren vor heute stießen die großen Inlandgletscher zum letzten Mal bis in den Lüneburger Raum vor und prägten mit ihren Endmoränenwällen die Landschaft Niedersachsens. Lüneburg liegt in einer Kette solcher Moränenwälle, die dem Warthe-Stadium der Saale Eiszeit zugeordnet werden können, d.h. ein Alter von etwa 140.000 Jahren haben.

Die Entwicklung des Lüneburger Salzstockes während der letzten Eiszeit, d.h. von 115.000 – 11.500 J.v.h., ist noch sehr unklar. Geowissenschaftler entwickeln heute zwar sehr wohl Szenarien wie ein Salzstock sich unter 3000 m mächtiger Eisbedeckung verhalten würde, wie überhaupt die gesamte Erdkruste und der obere Erdmantel auf die Eisbedeckung reagieren würde, aber verlässliche, allgemein anerkannte Ergebnisse gibt es dazu noch nicht. Dies liegt auch daran, dass die Mobilität von Salzstöcken unter eiszeitlicher Gletscherbedeckung für die Beurteilung der Sicherheit eines potentiellen Atom-end-oder-zwischenlagers wie Gorleben sehr hohe politische Brisanz hat. Die Geschichte des Salzstockes während der letzten Eiszeit kann daher hier noch nicht beschrieben werden.

Für die Nacheiszeit seit 11.500 J.v.h. kennt man die Entwicklung der Vegetation und des Gewässersystems allerdings schon recht genau, nur gibt es keine spezifischen Untersuchungen von Torfen aus der Randsenke des Lüneburger Salzstocks. Darin würde sich der Aufstieg des Salzes gut widerspiegeln, denn um einen aufsteigenden Salzstock senkt sich die Erdoberfläche in so genannten Randsenken. Man erkennt in

Lüneburg rings um den Salzstock zwar sehr wohl eine kreisförmige Absenkung in der Endmoränenlandschaft (siehe Geländemodell Abb. 4.1.), wann diese Vertiefung in den saalezeitlichen Moränenzügen aber entstanden sein könnte, ist bis heute nicht datiert; dies wäre ein interessantes Forschungsprojekt. Letztendlich wissen wir also nicht, ob der Salzstock seit der Saaleeiszeit vor 150.000 Jahren kontinuierlich aufgestiegen ist, ob er nach Rückzug der Saalegletscher im tektonischen Spannungsfeld vor dem Gletscher sehr schnell aufgestiegen ist, oder ob ein Großteil der Aufwärtsbewegung erst in jüngerer Zeit stattgefunden hat, d.h. als sich die letzten eiszeitlichen Gletscher vor 15.000 Jahren aus Schleswig-Holstein zurückzogen. Die Klärung dieser Frage wäre für die Beurteilung der natürlichen Hebungsraten des Salzstockes sehr wesentlich.

Die Hünengräber der Lüneburger Heide zeigen, dass die Region um Lüneburg seit mindestens 3700 vor Christus intensiv landwirtschaftlich genutzt wurde. Wenn es damals auch schon zu einer Nutzung des Salzes gekommen wäre, müsste dies aus archäologischen Befunden erkannt worden sein. Es zeigen sich in der Steinzeit, in der Bronzezeit und der Eisenzeit keine Anzeichen von Soleförderung, obwohl Salzgewinnung aus Sole in Mitteleuropa seit der Bronzezeit, und dann sehr stark in der Eisenzeit (ab ca. 700 vor Christus) dokumentiert ist. Auch aus germanischer Zeit (bis 400 Jahre nach Christus) gibt es keine Befunde zur Solenutzung. Eine ausführliche Beschreibung dieser vorgeschichtlichen Entwicklung findet sich unter www.lueneburgergeschichte.de. Die Lüneburger Solequellen waren also bis in das Frühmittelalter noch nicht entdeckt.

Kapitel 2: Die mittelalterliche Hansestadt

Wie oder wann die Entdeckung der salzhaltigen Quellen genau stattfand, ist nicht belegt; die Sage von der Salzsau ersetzt trockene Fakten. Einst verfolgten Jäger ein Wildschwein, das durch die morastigen Niederungen der Ilmenau zu entkommen versuchte. Schließlich konnten sie es stellen, töten und näher betrachten. Dabei glitzerten weiße Körnchen im dunklen Borstenhaar: Salz. So suchten die Jäger alle Plätze ab, an denen sich Wildschweine gern aufhielten oder wälzten. Wieder ging es durch die Sümpfe, bis schließlich salzhaltige Wasserlachen gefunden waren. Von dem besonderen Wildschwein, das die Jäger zum Salz geleitet hatte, gibt es noch einen Schulterknochen, der in der Alten Kanzlei des Rathauses ausgestellt ist. Diese Geschichte wird in die Zeit vor 956 AD datiert.

Die hydrogeologischen Fakten dazu kann man sich leicht erschließen, wenn man die topographische Situation beleuchtet. Die Sole steht heute in der alten Salinenbohrung in 14 m Tiefe unter der Oberfläche. Ganz an die Oberfläche kann sie nur gelangen, wenn sie unter erheblichen Druck kommt. Im Kapitel III wird gezeigt, dass der Druck auf das Grundwasser im Senkungsgebiet dadurch zustande kommt, dass Niederschlagswasser auf den den Talkessel umgebenden Höhen versickert. Wird auf den Höhen des Kreidebergs und um die Herderschule herum der Porenraum der oberflächennahen Lockersedimente von Regenwasser gefüllt, steigt der Druck auf das Tiefenwasser im Talkessel (Abb. 2.1.). Wenn das Wasser im Untergrund nicht schnell genug nach außen in Richtung Ilmenau abfließen kann, steigt es, bis es an der Erdoberfläche austritt. Der Jagd auf die Lüneburger Wildsau muss also ein extrem starker Regenfall vorausgegangen sein, der das salzreiche Wasser aus 14 m Tiefe hydrostatisch an die Oberfläche gepumpt hat.

Dieser Vorgang kann am besten mit einer Schemaskizze nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren erklärt werden (Abb. 2.1.). Auf dieses Schema wird auch in den kommenden Kapiteln immer wieder zurückgegriffen, da es für die Hydrologie des Oberflächen- und Tiefenwassers (Sole) einen ganz grundlegenden Zusammenhang veranschaulicht.

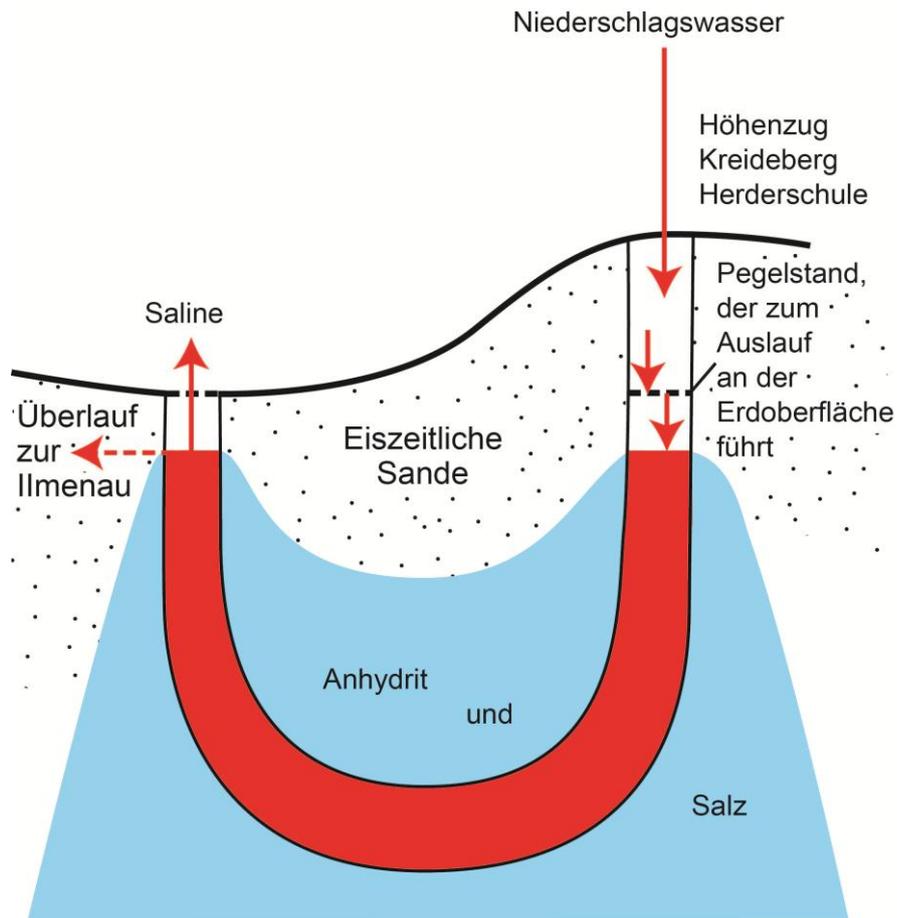


Abb. 2.1. Hydrostatische Kräfte nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren als Erklärungsmodell für die Tiefenwasserflüsse (Sole) im Inneren des Salzstocks.

Burg, Kloster und Stadt im 10. und 11. Jahrhundert

Laut einer Urkunde vom 13. August 956, ausgestellt in „Luniburg“, schenkte König Otto I. den Mönchen des auf dem Kalkberg liegenden Michaelisklosters den Salzzoll; damit ist spätestens ab dieser Zeit von einem florierenden Salzhandel auszugehen (zur Baugeschichte Lüneburgs neuerdings ausführlich: Böker, 2010). Vermutlich hat man im Bereich der Sülzwiesen die in einem seit dem 9. Jahrhundert genutztem Solebrunnen (Fons, d.h. Quelle) im Schutze der Burg Salz gesiedet dann auf den Fluss Ilmenau als Verkehrsader verladen. Hierzu gehörte ein entsprechender Bedarf an Arbeitskräften, die südöstlich vom Kalkberg wohnten. Unterhalb des 80 m hohen Kalkbergs (Mons, d.h. Berg), der schon früh mit einer landesherrlichen Burg und eben dem Kloster St. Michael besiedelt war, lag eine kleine Handwerkersiedlung mit zugehöriger Pfarrkirche St. Cyriakus (wohl aus der 2. Hälfte des 10. Jahrhunderts).

Das Dorf Modestorpe, in dem ein Vorgängerbau der Johanniskirche vermutlich seit dem 9. Jahrhundert bestand, bildet einen weiteren Siedlungskern, gelegen an einer Brücke über die Ilmenau, wo die Geestkante direkt am Fluss verläuft und von daher einen Übergang erleichterte (Pons, d.h. Brücke). Mit den Stichworten Fons, Mons, Pons sind die drei frühen Lüneburger Stadtviertel benannt, wozu später noch das Wasserviertel kam. Einer der drei Siedlungskerne ist wohl mit „Hliuni“ in den fränkischen Reichsannalen um 795 gemeint.

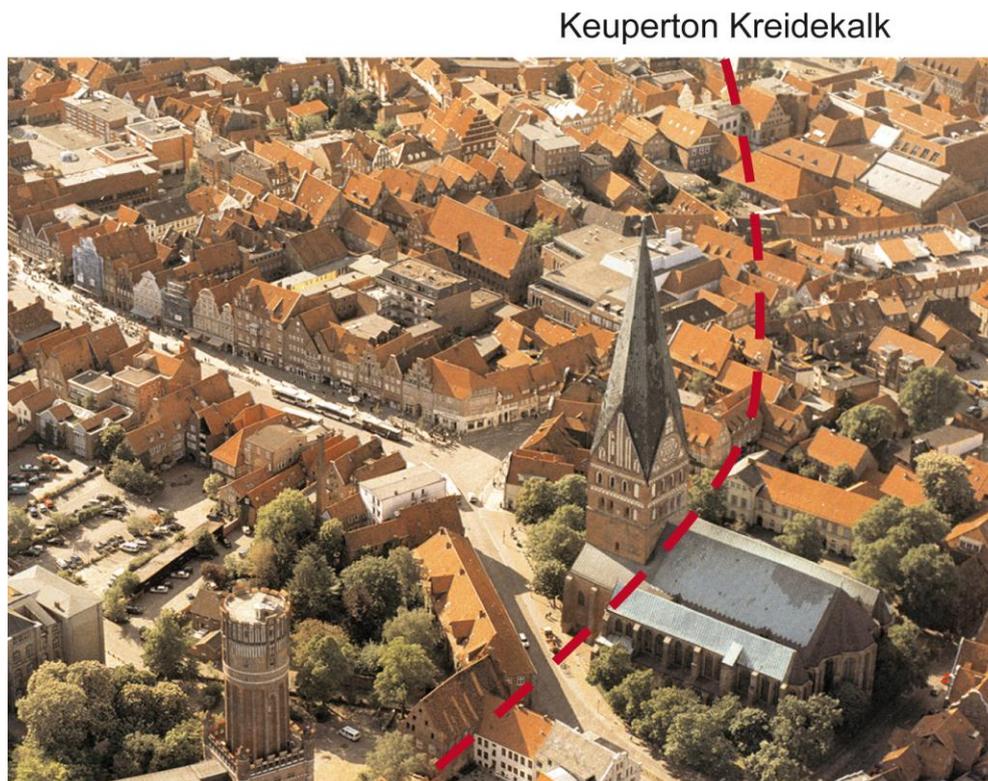


Abb. 2.2. Luftbild der Johanniskirche, freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Pastor Ingo Reimann.

Schon früh, zuerst nachweislich 1013, gibt es Berichte über Senkungserscheinungen nahe der heute nicht mehr vorhandenen Cyriakuskirche, die am Fuß des Kalkbergs lag. Dies Ereignis wird auch als Erdbeben in der Chronik Thietmars von Merseburg (acht Bücher 1012 – 1018) erwähnt, wo an der Straße zwischen Michaeliskirche und Marienplatz durch Ablaugung von Salz oder Gips ein Hohlraum entstanden sein sollte, in den Erdreich nachsackte. In dieser lokalen Senke sammelte sich Wasser, was vermutlich der Straße ihren Namen „Auf dem Meere“ gab.

Salzmonopol und Backsteinbauten ab dem 12. Jahrhundert

Seit dem Mittelalter steht die bauliche Entwicklung dann ganz im Zeichen der Salzförderung und des Salzhandels, die auch die Grundlage für kulturelles Leben in zahlreichen prächtigen öffentlichen und privaten Backsteinhäusern und Kirchen bedeuten.

Maßgeblich förderte der Welfenherzog Heinrich der Löwe die Stadt, indem er die Saline begünstigte und sogar das zuvor bedeutendere Bardowick 1189 zerstören ließ. Er hat vermutlich auch das Stadtrecht an Lüneburg verliehen. Heinrich legte damit die Grundlagen für einen raschen Aufstieg der Stadt, da er den Lüneburgern für sein gesamtes Herrschaftsgebiet das so wichtige Monopol auf die Salzförderung zugestand. Eine konkurrierende Saline in Bad Oldesloe ließ er zuschütten. Die Einnahmen aus dem Verkauf des Lüneburger Salzes gingen zu dieser Zeit noch hauptsächlich an den Landesfürsten und das Kloster als Eigentümer der Saline. Die Verleihung des Salzmonopols an die Stadt stellte damit auch eine entscheidende Einnahmequelle des sächsischen Fürstentums Lüneburg-Braunschweig dar.

Backstein als charakteristisches Baumaterial – seit dem Mittelalter vor Ort gebrannt und verbaut – bewirkt ein homogenes Stadtbild, zumal es kaum Kriegszerstörungen gab. Der besondere Reiz der Ziegel liegt in ihrer Farb- und Formvielfalt, die ausdrucksvolle und abwechslungsreiche Oberflächen schafft. In ganz Norddeutschland haben Backsteine seit Mitte des 12. Jahrhunderts die stark feuergefährdeten Holz- und Fachwerkbauten sukzessive ersetzt, was sich zunächst nur die Wohlhabenden leisten konnten. Der zum Versatz der Steine notwendige Mörtel wurde aus dem Gips des „Kalkbergs“, der ja eigentlich ein Gipsberg ist, selbst gewonnen. Typologischer Ursprung für die zunehmend prächtigen Patrizierhäuser waren Bauernhäuser mit ihren zweigeschossigen Dielen als Mittelpunkt und der Nutzung oberer Geschosse als Speicher. Bis um 1300 hatte sich Ziegel als Baumaterial in den Hauptstraßen durchgesetzt (Abb. 2.3.), Fachwerk wurde vor allem für Häuser in der Altstadt, d.h. im Senkungsgebiet in unmittelbarer Nähe der Saline beibehalten, vermutlich, da das Fachwerk die Senkungen, die es schon damals gegeben haben muss, besser abpuffern konnte (Abb. 2.4.).



Abb. 2.3. Giebel der Großen Bäckerstrasse 5, wo der Verfasser dieses Buches eine wunderschöne Kindheit verbringen durfte.



Abb. 2.4. Haus Untere Ohlinger Str. 7 und 8 in Originalgestaltung, restauriert vom Arbeitskreis Lüneburger Altstadt (Foto: K. David)

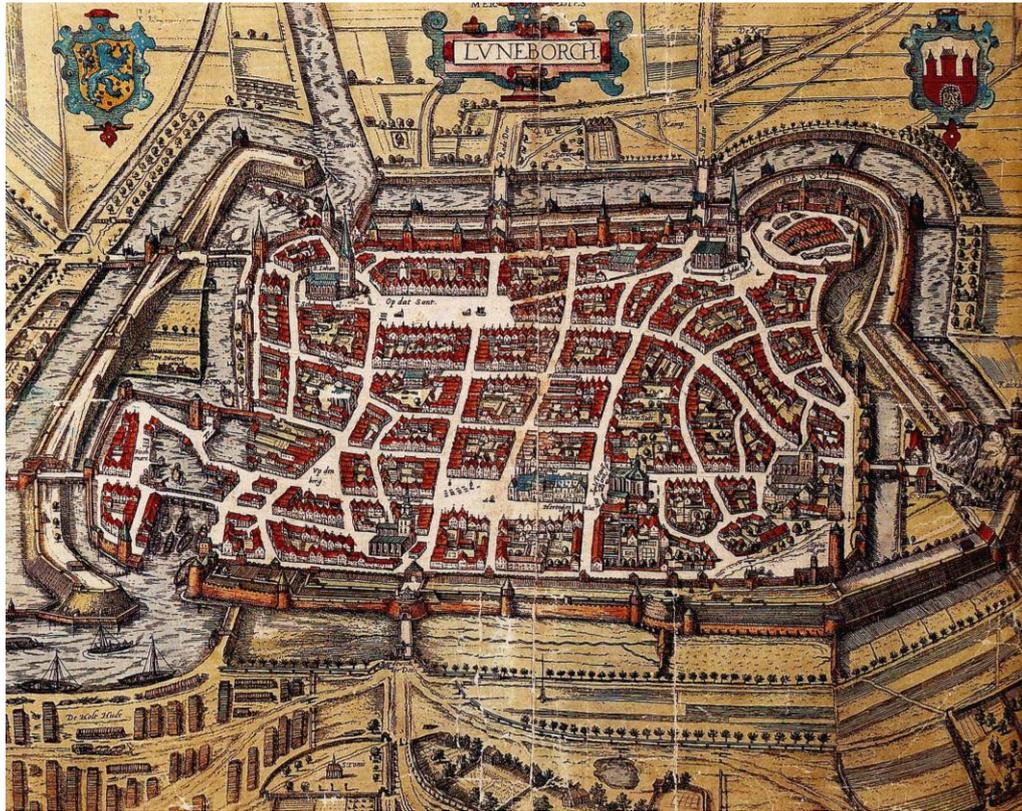


Abb. 2.5 alte Stadtansicht von Lüneburg, Braun/Hogenberg, Kupferstich um 1598 (Stadtarchiv und Böker, 2010)

Ausbau der Stadt und Salzproduktion der Saline im 13. Jahrhundert

Die Stadt selbst schützte bereits im 11. Jahrhundert ein System von Gräben und Palisaden rund um die Burgsiedlung unterhalb des Kalkbergs. Dem folgte nach 1200, als das an der Ilmenau gelegene Modestorpe sowie die Neustadt im Norden hinzukamen, eine Erweiterung mit Palisaden, die bis an das Ostufer der Ilmenau reichte. Diese großräumige Umwallung ist 1250 erstmals dokumentiert. Nachdem im Jahr 1274 über umfangreiche Erdarbeiten berichtet wurde, gab es schließlich 1297 feste Stadtmauern einschließlich massiver Stadttore und Türme, die noch gut in den Vogelschau-Bildern des 16. Jahrhunderts zu sehen sind (Abb. 2.5.).

Die Saline ging 1228 nach zahlreichen Verkäufen von Sülzgut seitens der Herzöge an eine Gruppe von Geistlichen, Rittern und Bürgern über, denen das Recht zur Wahl des Solmeisters (oberster Beamter der Sülze) zustand. Diese sogenannten Sülzbegüterten (Sülzprälaten) betrieben die Gewinnung des Salzes aber nicht selbst, sondern

beauftragten Lüneburger Bürger damit, die bei Besitz oder Pacht von mindestens vier der einmal einen Meter messenden Pfannen als Sulfmeister bezeichnet wurden. Aus den Reihen dieser Sulfmeister, die eine überschaubare Zahl von Familien kontinuierlich stellte, bildete sich zügig ein städtisches Patriziat.

Spätestens seit 1276 gab es 54 Siedehütten mit je vier Pfannen (Abb. 2.6.), d.h. insgesamt 216 Siedepfannen, die je 50 l fassten. Für einen einzigen Siedevorgang benötigte man zwei bis drei Stunden bis das trockene Salz vom Pfannenboden abgeschabt werden konnte. Bei durchgängigem Schichtbetrieb waren bis zu dreizehn solcher Söde pro Tag möglich. Das waren maximal 2808 Pfannen, also 140.400 Liter Sole pro Tag. Bei etwa 300 Arbeitstagen pro Jahr sind es immerhin 42.120.000 Liter Sole, die pro Jahr verdampft wurden. In der Abb. 3.1. ist der Rückstand von 1 Liter Sole mit 26% Salzgehalt wiedergegeben. Pro Liter lassen sich aus dieser Sole 304 g Trockensalz gewinnen. Damit ergibt sich eine stattliche Menge von 14.300 t Trockensalz, die dem Untergrund jährlich entnommen wurden.

Spätestens seit 1276 gab es 54 Siedehütten mit je vier Pfannen (Abb. 2.6.), d.h. insgesamt 216 Siedepfannen, die je 50 l fassten. Für einen einzigen Siedevorgang benötigte man mindestens 3 Stunden bis das trockene Salz vom Pfannenboden abgeschabt werden konnte. Bei durchgängigem Schichtbetrieb waren bis zu zwölf solcher Söde pro Tag möglich. Das waren maximal 2592 Pfannen, also 129.600 Liter Sole pro Tag. Bei etwa 300 Arbeitstagen pro Jahr sind es immerhin 38.880.000 Liter Sole, die pro Jahr verdampft wurden. In der Abb. 3.1. ist der Rückstand von 1 Liter Sole mit 26% Salzgehalt wiedergegeben. Pro Liter lassen sich aus dieser Sole 304 g Trockensalz gewinnen. Damit ergibt sich eine stattliche Menge von 11.819.520 g Trockensalz, d.h. eine maximale Trockensalzförderung von ca. 11.900 t, die dem Untergrund jährlich entnommen wurden.

Senkungsschäden gab es auch schon in dieser Zeit. In einer Grabung im Jahr 2010 wurden in der Straße „In der Techt“ Schutt verfüllte Trichter freigelegt. Die schrägen Abrisskanten und die Verschleppung der hellen Deckschichten weisen darauf hin, dass es sich bei solchen Trichtern um mittelalterliche Erdfälle handelt.

Eintritt in die Hanse und Ausweitung des Salzhandels im 14. Jahrhundert

Wie überall, kam es auch in Lüneburg im 14. Jahrhundert zu einem Rückgang der Bevölkerung, bedingt durch klimatische Extreme, Hungersnöte und wiederholte Pestepidemien. Erst im darauffolgenden Jahrhundert stiegen die Einwohnerzahlen in der Stadt wieder an.

Die damals für den Salztransport bevorzugten Wasserwege konnten nur stückweise ausgebaut werden, so reichten sie zunächst 1335 von Lübeck bis Mölln, schließlich konnte ab 1395 Lüneburgs Salz direkt bis Lübeck verschifft werden. Der Transport über Land war deutlich teurer und zeitaufwendiger, aber auch über Wasser dauerte es einen ganzen Monat, bis die über 100 Kilometer mit ihren 17 Stauschleusen überwunden waren.

Im Lauf des 14. Jahrhunderts verschoben sich die politischen Machtverhältnisse nachhaltig. Nach Kämpfen in der Ursulanacht am 21. Oktober des Jahres 1371 zerstörten Lüneburger Bürger die landesherrliche Burg auf dem Kalkberg. Damit ging der Berg in städtisches Eigentum über, was eine vermehrte Nutzung als Gipssteinbruch ermöglichte, Kalkberg-Steine für neue Häuser und Kirchen wurden bis nach Harburg, Uelzen, Hamburg oder Mölln transportiert. Diese Oktobernacht von 1371 markiert den Beginn eigenständiger Politik unabhängig vom Landesherrn, woraufhin Wirtschaft und Kultur aufblühten, was auch im Stadtbild zu beobachten ist. Dort lösten ab Anfang des 14. Jahrhunderts schmuckvolle Staffelgiebel die Dreiecksgiebel ab. Besonders die Sülzmeister profitierten von den neuen Machtverhältnissen, da jetzt Angehörige einiger weniger Familien als Patriziat über Jahrhunderte hin – bis 1619 – sämtliche Ratsmitglieder ebenso wie die jeweiligen Bürgermeister stellten.

Überregional konnte die Stadt ihre Macht durch den Anschluss an die Hanse als wichtigsten mittelalterlichen Handelsverbund im Jahr 1371 ausbauen und stärken. Beispielsweise gestatteten die Herzöge den Prälaten 1383, nach weiteren Solequellen – auch außerhalb der Stadt – zu suchen, um die im 14. Jahrhundert durch die neuen Befestigungsanlagen aufgelaufenen erheblichen Schulden abzutragen. Schon zwei Jahre später ging eine neue Saline in der Stadt in Betrieb. Ab 1388 wurde die Sole von dort gleichmäßig auf die vorhandenen Häuser der älteren Saline verteilt, sodass noch einmal die Einkünfte stiegen (Heineken, 1908). Seit dem ausgehenden 14. Jahrhundert verkaufte man das Salz nach Gewicht, zuvor hatte die Füllmenge als Maß gegolten.

Zeitgleich entstand 1392 – 98 der Stecknitzkanal, die sog. Stecknitzfahrt, zwischen Lübeck und Lauenburg, was einen großen Fortschritt für den Salztransport bedeutete.

Krise und Höhepunkt der Stadtentwicklung im 15. Jahrhundert

Eine Ansicht der mittelalterlichen Stadt mit hoch aufragenden Kirchtürmen und ihrem charakteristischen Salinendunst zeigt ein Tafelbild von Hans Bornemann um 1447 (Abb. 2.5.).

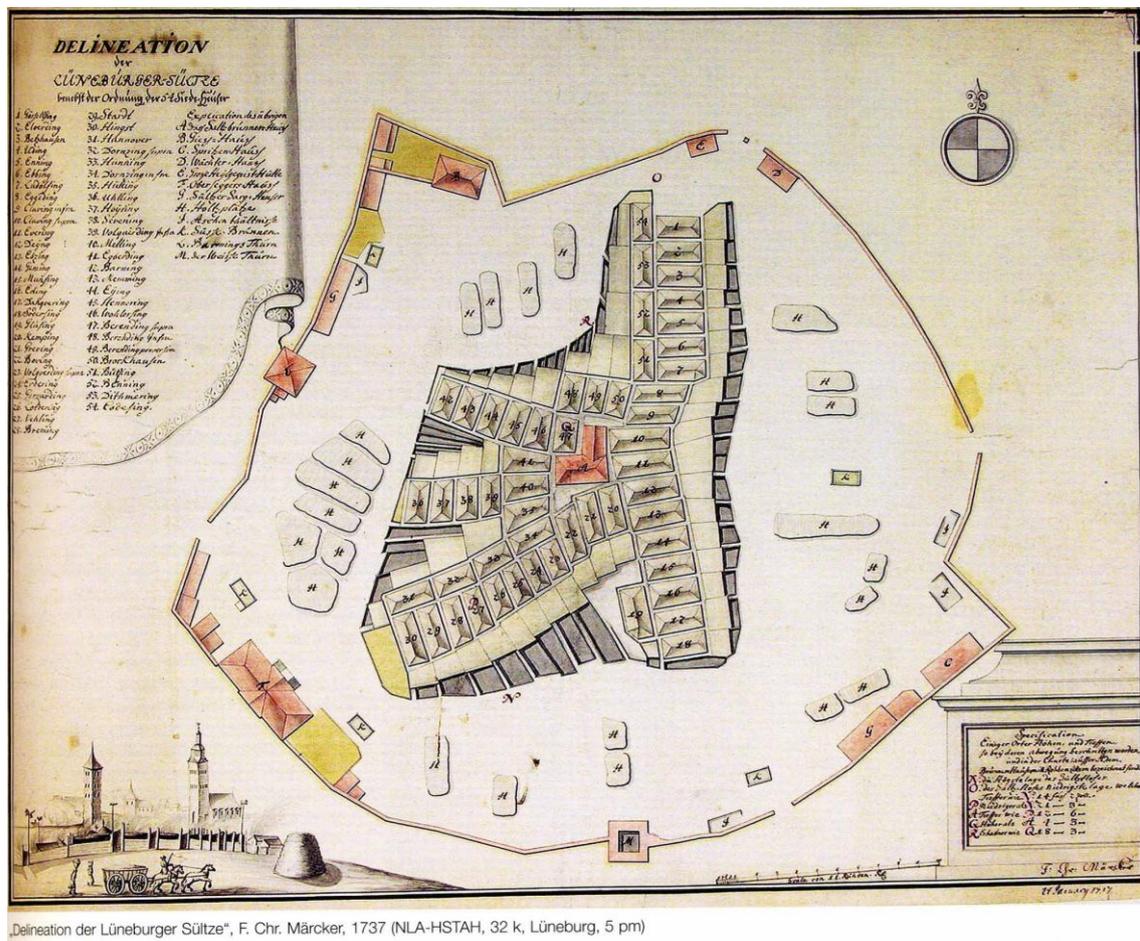


Abb. 2.6. Grundrissplan der Saline mit den 54 Siedepfannen (Böker, 2010).

Die Prälatenkriege zwischen 1445 – 62 stürzten die Stadt in eine schwere Finanz- und Wirtschaftskrise. Der Rat hatte von den Sülzprälaten eine Beteiligung an finanziellen Verpflichtungen etwa gegenüber der Hanse gefordert. Deren Weigerung konnte trotz päpstlicher und kaiserlicher Unterstützung die Stadt nicht zum Einlenken bringen. So mussten alle Anteilseigner der Saline eine Abgabe an die Stadt zahlen, denn der Rat

hatte 50% der Salineneinkünfte als Beitrag zur Entschuldung von den Sülzbegüterten (Sülzprälaten) gefordert; dies waren eben hauptsächlich geistliche Teilhaber (Kirchen, Klöster, Stifte). Der Rat setzte nach jahrelangen Unruhen 1462 im Vertrag von Reinfeld seine Forderung durch.

In der Zeit danach, von 1462 – 1530, erreicht die mittelalterliche Stadtentwicklung ihren Höhepunkt: Lüneburg gehört nun zu den reichsten Städten Norddeutschlands mit seinen ungefähr 14.000 Einwohnern, die in etwa 2000 Wohnhäusern lebten.

Vorausgegangen war 1451 nochmals ein Einbruch durch die Pest. Ausgedehnte Handelsverbindungen erreichten jetzt Skandinavien, Schlesien und Russland ebenso wie Burgund. Aber immer stand das Salz im Mittelpunkt städtischen Selbstbewusstseins: „de sulte dat is Luneborch“ hat der Bürgermeister Heinrich Lange 1461 behauptet.

Schon seit 1229 bestand eine Marienkirche mit Barfüßerkloster auf dem heute noch Marienplatz genannten Platz zwischen Rathaus und Altstadt. Senkungsbedingte Bauschäden gab es an dieser Kirche schon gegen Ende des 15. Jahrhunderts auf dem Untergrund eines mit Gipsteilen vermischten schlüpfrigen Tons, wobei unterirdische Soladern weiter zur Instabilität beigetragen haben sollen (Krüger & Reinecke, 1906). 1818 fiel die Kirche auf dem heutigen Marienplatz dann letztendlich der Senkung zum Opfer. Über diese Senkungsschäden wird in der Literatur der Zeit nicht berichtet. Sie fanden im wenig repräsentativen Wohngebiet der Salinenarbeiter statt; dies vielleicht ein Grund für die Überlieferungslücke.

Reformation und beginnende wirtschaftliche Stagnation im 16. Jahrhundert

Ab Mitte des 16. Jahrhunderts mehren sich schrittweise die Anzeichen beginnender Stagnation. Um 1560 bleiben die Heringe vor Falsterbø in Schonen aus. Die Saline erlebte noch zwischen 1560 – 1620 eine Blütezeit, danach folgt ein Niedergang des Lüneburgischen Salzhandels. Die Freiheit der Elbschifffahrt (vorher teilweise von Lüneburg kontrolliert) – kaiserlich verfügt – trägt weiter zu einem wirtschaftlichen Abstieg bei. Schon ab 1593 leiteten ein scharfer Konflikt mit dem Landesherrn, finanzielle Verpflichtungen aus diversen Verträgen und ein Stocken des Salzhandels den Niedergang ein. Als Folge kam es zu schweren inneren Unruhen zwischen 1593 – 1619.

Niedergang des Salzhandels im 17. und 18. Jahrhundert

Den Salzhandel erfasste im 17. Jahrhundert eine lang anhaltende Rezession. Salz konnte man inzwischen erheblich billiger aus dem Meer gewinnen (sog. Baiensalz), an der Nordsee aus Salztorf. Dieser Konkurrenz hatte Lüneburg nur wenig entgegensetzen. Zudem gingen die Heringsfänge rapide zurück und seit der Reformation spielte der Fisch ohnehin als Fastenspeise nur noch eine untergeordnete Rolle. Weiterer Verfall im Salzhandel, Niedergang der Hanse und Überalterung des Sülzbetriebs bestimmten das städtische Geschehen. Die Bürgerschaft lehnte sich gegen die alleinige Herrschaft der Patrizier im Rat auf, woraufhin schließlich fünf Vertreter der Brauer und Kugelbrüder (Heringskaufleute) im Jahr 1619 als Ratsmitglieder einziehen konnten.

Ein neu gegründetes Salzkontor war ab 1659 für die zentrale Vermarktung ebenso wie die Beschaffung von Brennmaterial zuständig. Weitere Verordnungen des Herzogs zwischen 1683 – 99 betrafen beispielsweise Finanzen, Saline, Gericht. Das Speditionswesen, das auf Straßenzwangs- und Stapelrecht beruhte, führte zu einem gewissen Wohlstand in den 1720er Jahren bei einer Zahl von 11.000 Einwohnern.

Für die Zeit zwischen dem Ende des 30-jährigen Krieges und dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert lassen sich die jeweiligen Fördermengen der Saline nur sehr ungenau abschätzen. Historische Quellen im Salzmuseum belegen eine ganze Reihe von Produktions-Einbrüchen, sei es durch Versiegen der Quellen oder auch eine Verdünnung der Sole durch Wildwasserzutritt, durch Mangel an Brennholz oder die Umstellung auf Wasserenergie aus der Ilmenau mit Hilfe eines aufwendigen Pumpensystems. Nach dem Auseinanderfallen der Hanse im ersten Drittel des 17. Jahrhunderts konnte sich das Siedesalz gegen die Konkurrenz von Salz aus Bergwerken oder aus Salzgärten am Mittelmeer kaum noch durchsetzen. In der Zeit vom 17. – 19. Jahrhundert dürfte die Produktion daher oft unter 5000 Tonnen pro Jahr gelegen haben.

Während der französischen Besetzung im Siebenjährigen Krieg sank die Einwohnerzahl im Jahr 1757 auf nur noch 9426 Personen, danach verarmte die Stadt weiter. Von den 2148 Häusern, die man 1762 zählte, waren 243 unbewohnt und es lebten gerade noch 8529 Menschen in Lüneburg.

Mit der Saline ging es ebenfalls weiter bergab. Schon lange war es unumgänglich, die technischen Anlagen den Erfordernissen der Zeit anzupassen. Zunächst ohne Folgen blieb der Erlass eines kurfürstlichen Salinenreglements 1728. Der König von Großbritannien, der zugleich Kurfürst von Hannover war, nahm 1730 zehn Pfannen in Besitz, um den Fortbestand zu sichern.

Einige Jahrzehnte später wurde die Sole aus einem 14 m tiefen, offenen Loch gefördert. Im Jahr 1782 konnte der Hamburger Baumeister Ernst Georg Sonnin (1713 – 1794) ein zur Soleförderung entworfenes Pumpgestänge nach vielen Schwierigkeiten fertigstellen. Diese Pumpanlage wurde durch die Wasserkraft der Ilmenau angetrieben und über ein langes Gestängesystem entlang der Wallstraße wurde diese mechanische Energie in der Saline für die Förderung der Sole aus dem offenen Sod genutzt. Das Pumpgestänge war Tag und Nacht in Bewegung, was allerdings mit entsprechendem Lärm verbunden war. 1866 hatte diese Anlage dann wieder ausgedient. Im ausgehenden 18. Jahrhundert übernahm der Landesherr den Sülzbetrieb vollständig vom Rat und stellte einen Obersalinendirektor an die Spitze einer differenzierten Hierarchie.

Die Umbrüche des 19. Jahrhunderts – Industrieanlagen und erster Kurbetrieb

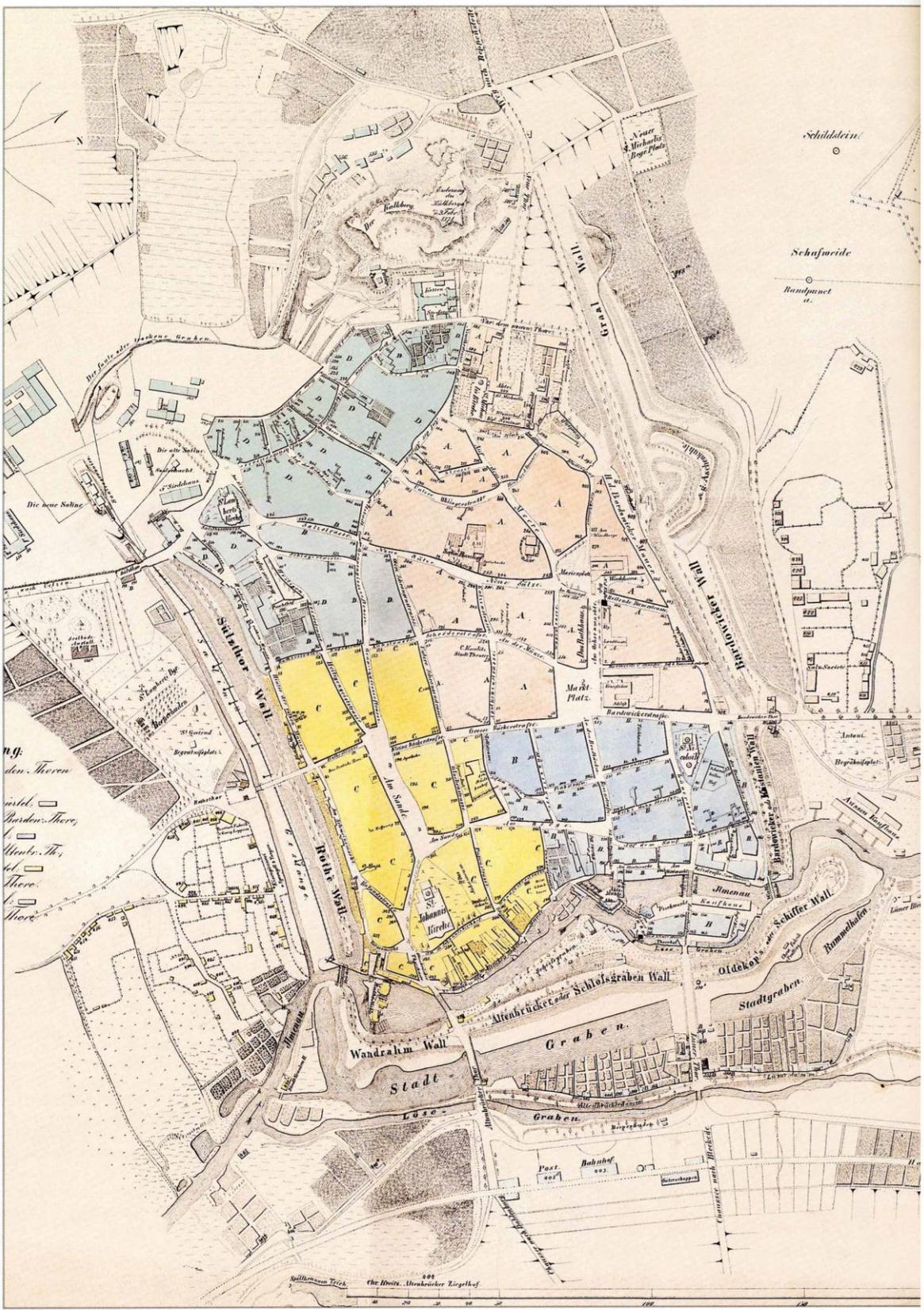
Außer zur Salzgewinnung hat man die Sole schon seit dem Mittelalter medizinisch genutzt. Auf dem Gelände der Saline gab es ab 1813/14 erste Holzbadewannen für Solebäder. Zwei Bottiche in einem Stallgebäude nahe am Wohnhaus des Salinendirektors waren ebenfalls für Kuranwendungen vorgesehen, später folgte ein Ausbau auf fünf Wannen und eine Duschmaschine. Im Jahr 1817 haben 3200 Gäste die Anlagen besucht. 1820 entstand ein erstes Badehaus mit zwölf Wannen an der Ecke Lindenstraße/ Sülztorstraße, dessen Betrieb aber erst nach 1900 an Bedeutung gewann. 1832 wurde das neue Brunnenhaus, in dem verschiedene unterirdische Stollen zusammengeführt wurden, erbaut.

Auf dem Salinengelände fanden 1855 – 59 Neu- bzw. Umbauten statt, denn eine neue chemische Fabrik nahm 1852 die Produktion von Soda, Schwefelsäure, Salzsäure, Chlorkalk und Glaubersalz auf. 1860 siedelte sich die Portland-Zement-Fabrik der Gebr. Heyn am Kreideberg an. Zeitgleich mit Eröffnung der Lauenburg-Lüneburger Eisenbahn, die einen eigenen Güterbahnhof bekam, wurde im Jahr 1863 eine

Kunstdüngerfabrik gegründet. Damit ermöglichten es gerade die geologischen Bodenverhältnisse, dass sich Lüneburgs wirtschaftliche Lage in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entscheidend verbesserte.

Seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert sprengten die neuen Entwicklungen überall die mittelalterlichen Stadtgrenzen. Befestigungen wurden niedergelegt, ganze Straßenzüge neu bebaut. In Lüneburg legte man neue Verkehrsstrassen in den Wallanlagen an und erschloss außerhalb zahlreiche neue Stadtviertel für die Bebauung. Ein Stadtplan von 1856 zeigt unter anderem die neue Saline sowie die „Soolbade-Anstalt“ inmitten einer schön gestalteten Grünanlage (Abb. 2.7.).

Mit der Zugehörigkeit zur preußischen Provinz Hannover seit 1866 begann der planmäßige Ausbau der Stadt mit zahlreichen Wohn- und Geschäftshäusern. Manche Straßenzüge aus dieser Zeit haben noch viel von ihrem geschlossenen Erscheinungsbild bewahrt, manche Gebäude des späten 19. Jahrhunderts wurden aber schon in den 60iger Jahren des 20. Jahrhunderts nach massiven Senkungsschäden abgerissen, z.B. die alte Post am Marienplatz (Abb. 2.8.). Es ist heute kaum zu glauben, dass man damals solche Schäden noch einem „Senkungsteufel“ zuschreiben konnte (Abb. 2.8.). An einer naturwissenschaftlichen Aufarbeitung der Senkung, wie sie z.B. der Stadtgeometer Fritz Bicher schon damals vorgenommen hatte man offensichtlich kein Interesse (siehe seine Original- Gutachten in den Materialien: <http://www.lueneburg-und-das-salz.de>).



„Grundriss von Lüneburg nebst Umgebung, 1856* (StA Lg, K 10, C 12)

Abb. 2.7. Stadtplan von 1856 (Böker, 2010)

TESTBOHRUNGEN AUF DEM HOF:

Der Senkungsteufel bedroht das Postamt

Erdschübe verursachen Bruch in der Kanalisation

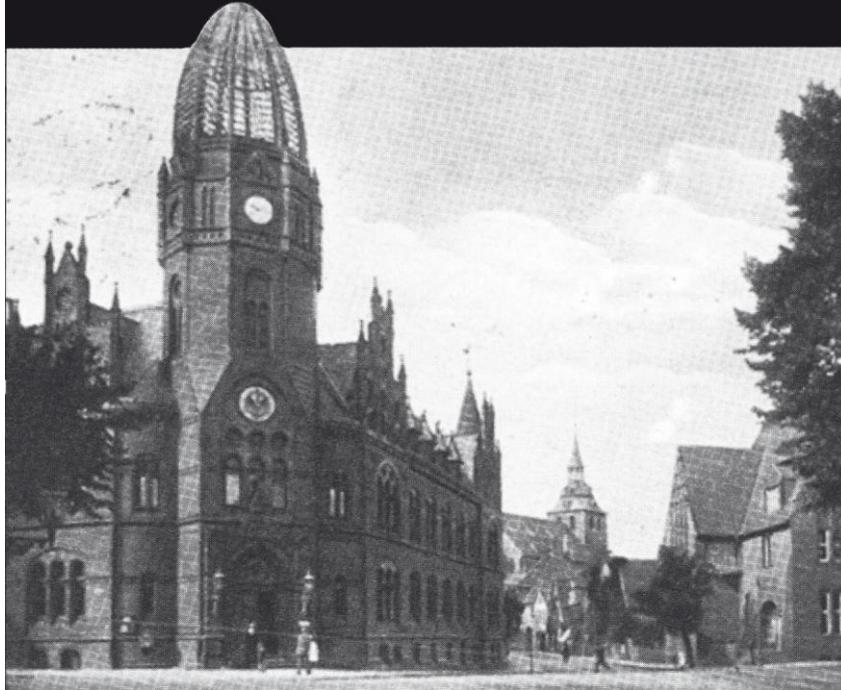


Abb. 2.8. Neugotisches Postamt am Marienplatz, erbaut 1891, abgebrochen 1972,
Landeszeitung vom 23.08.1966

Im Zuge der Industrialisierung gewann ein weiterer Rohstoff in Lüneburg an Bedeutung. Wirtschaftlich interessante Kalke und Kalkmergel der Oberen Kreide standen direkt an der Oberfläche an. Mit dem Abbau im 18. Jahrhundert (Beizkalk) beginnend, wuchs seit dem frühen 19. Jahrhundert zusätzlich die Dünge- und Baukalkgewinnung zu einem wichtigen Wirtschaftszweig heran. Abb. 1.12. zeigt die Kalkbrüche Volgershall, Kreideberg, Krankenhaus im Abbau während der 50iger Jahre. Diese Kalkbrüche wurden in der Endphase von der Düngerkalkfirma Pieper & Blunck betrieben, wo der Großonkel des Autors als Prokurist arbeitete. Auf diesem Weg sind die Originalgutachten von Fritz Bicher zum Autor gekommen und haben damit letztendlich den Grundstein für diese Publikation geliefert. Erst im Jahr 1962 schloss der Zeltberg-Bruch als letzter Kreideaufschluss endgültig seine Tore.

An der Wende zum 20. Jahrhundert hat man die Gebiete unmittelbar vor den ehemaligen Befestigungen und Stadttoren erschlossen, z.B. Im Roten Felde. Aber auch am Rand des Senkungsgebietes wird gebaut, etwa das neugotische Postamt am Marienplatz (Abb. 2.8.), das schon knapp hundert Jahre später in 1972 wegen starker Senkungsschäden abgerissen werden musste.

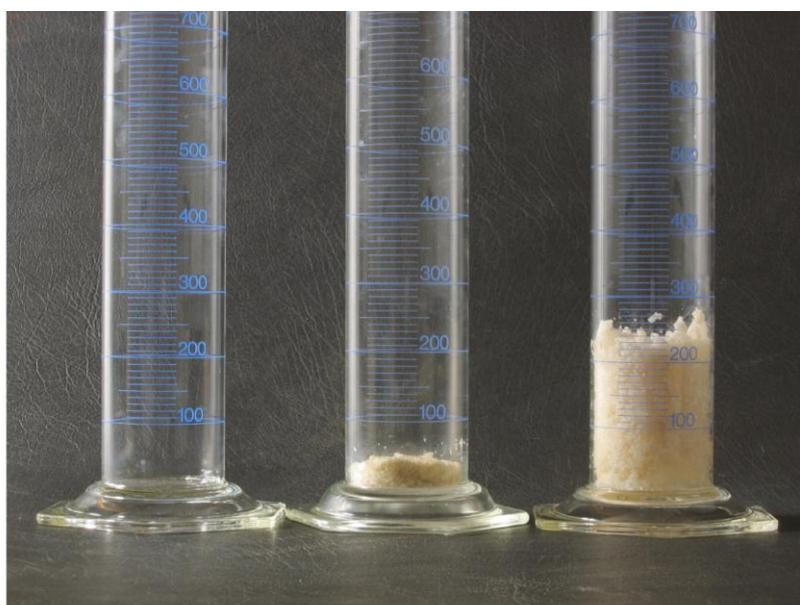
Die schon viele Jahrhunderte lang praktizierte Anwendung von Sole als Heilmittel erlebte mit der im 19. Jahrhundert einsetzenden Kur-Kultur eine Blüte und wurde in Lüneburg zu einem eigenen Wirtschaftszweig. Deswegen entstand ab 1907 eine großzügige Anlage mit Park, Badehaus und einem repräsentativen Kurhaus, das mit Kuppel und Säulenportikus Motive der Schlossarchitektur zitiert. Im Kurhaus konnte man in Holzwannen baden, Moor- oder auch spezielle Kinderbäder rundeten das weitgefächerte Angebot ab. Im Jahr 1910 kam ein Gradierwerk hinzu (Abb. 2.9.). 1919 kaufte die Stadt das Sole- und Moorbad für 173.754 Reichsmark. Im Jahr 1928 erlebte es mit 7822 Gästen seinen Besucherrekord. 1976 folgte die Anerkennung als Sole- und Moorheilbad. Die Tradition der medizinischen Soletherapie wird seit 1981 von der Salztherme SALÜ weitergepflegt.



Abb. 2.9. Gradierwerk im Kurpark, diente ursprünglich zur Aufkonzentrierung der Sole und wird heute noch zu Heilzwecken (salzhaltige Luft) weiterbetrieben (Stadtführer Lüneburg).

Kapitel 3: 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.



	Regenwasser	Meerwasser	Sole
Salzgehalt:	0 %	3,5 %	ca. 26 %
Salzgewicht:	0 g	22 g	ca. 300 g

Abb. 3.1. Eindampfungsrückstand von 1 l Sole, 1 l Meerwasser und 1 l Leitungswasser.
Der Trockenrückstand aus der Sole beträgt 320 g, davon 305 g NaCl.

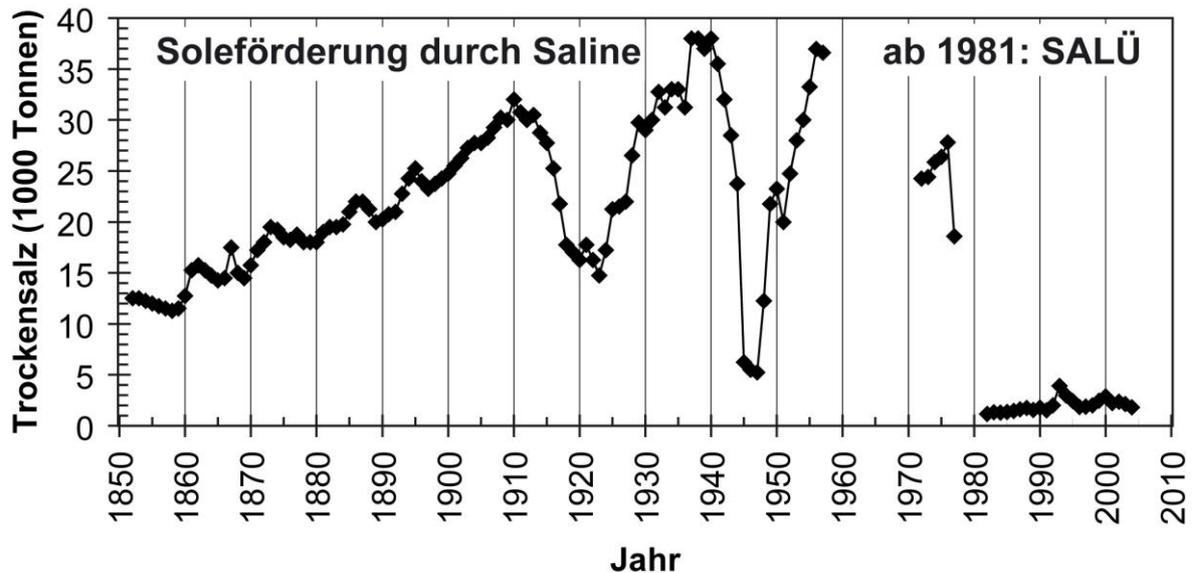


Abb. 3.2. Förderraten der Saline im 20. Jahrhundert, aus Akten des aufgelassenen Salinenkontors, Quelle: privat.

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. 3.2. erstmals im vorliegenden Buch. 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. 3.2.). In den erneuten Kriegs- und Nachkriegsjahren erfolgte wieder ein starker Einbruch, dann kletterten ab 1950 erneut die Produktionszahlen auf bis zu 35.000 Tonnen.

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. 3.3.), zu dessen Nachbarhaus das heute noch bekannte „Tor zur Unterwelt“ gehörte (Abb. 4.9.). Dieses Tor wird in einem der hinteren Kapitel 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. 4.8. 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. 3.6.). 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. 3.4., 3.5.).

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.



Abb. 3.3. Extreme lokale Senkung: Zusammenbruch der Häuser Frommestraße 2 und 3 im Jahr 1931. Foto aus Pleß & Welke (1959).



Abb. 3.4. Abbrucharbeiten im Altstadtgebiet nach Senkungsschäden. Foto aus Pleß & Welke (1959).

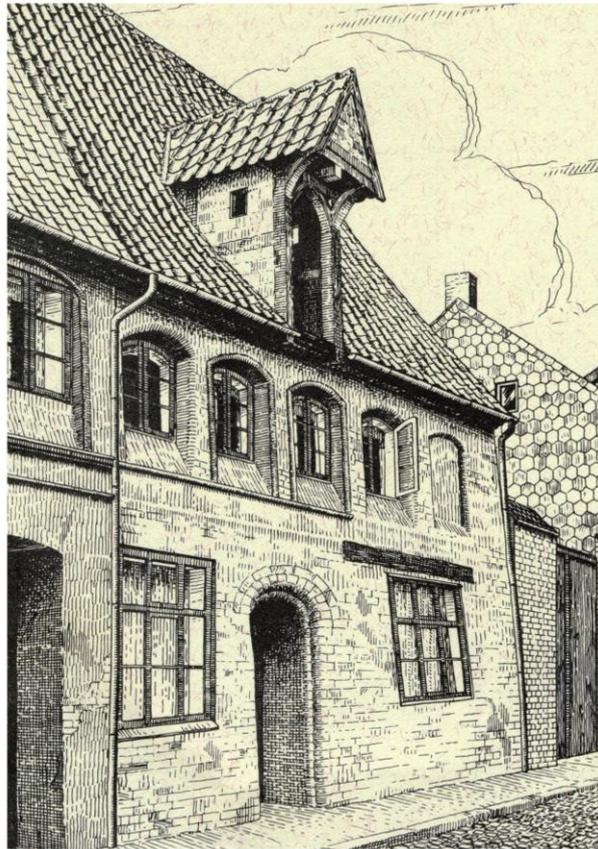
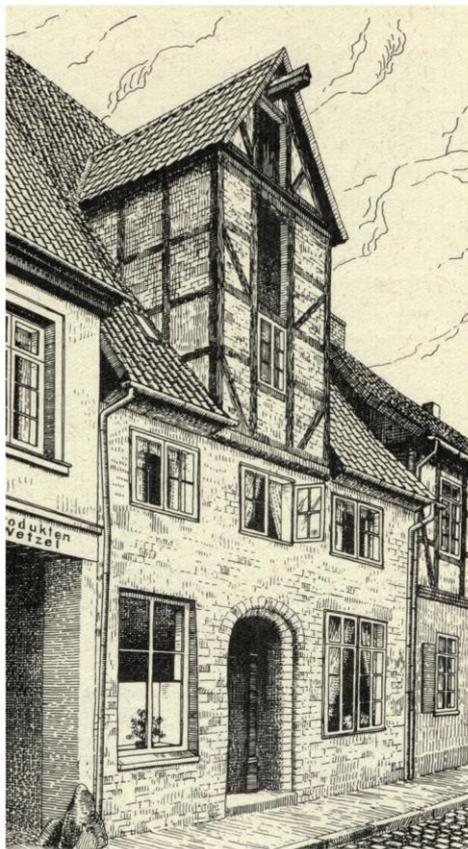


Abb. 3.5. Beispiele abgebrochener Häuser, Zeichnung A. Brebbermann, aus Abrisskalender des ALA (Arbeitskreis Lüneburger Altstadt).

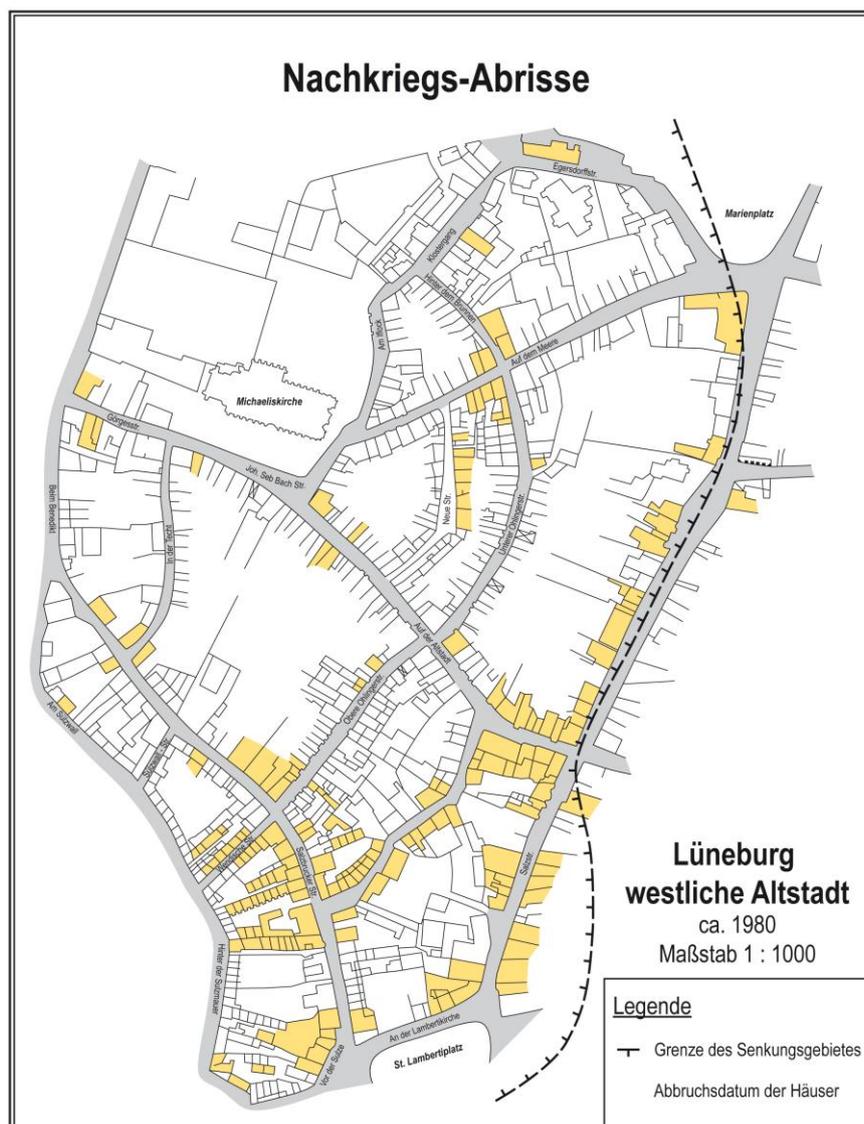


Abb. 3.6. Straßenkarte der Altstadt mit abgebrochenen Häusern, nach Angaben des ALA.

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 Sülwiesen 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. 3.7.). 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

zusammenhängen müsste. Der riesige Hohlraum der Kaverne ist auch heute noch unter den Sülzwiesen vorhanden, nun aber mit gesättigter Sole verfüllt und der Schacht ist heute plombiert.

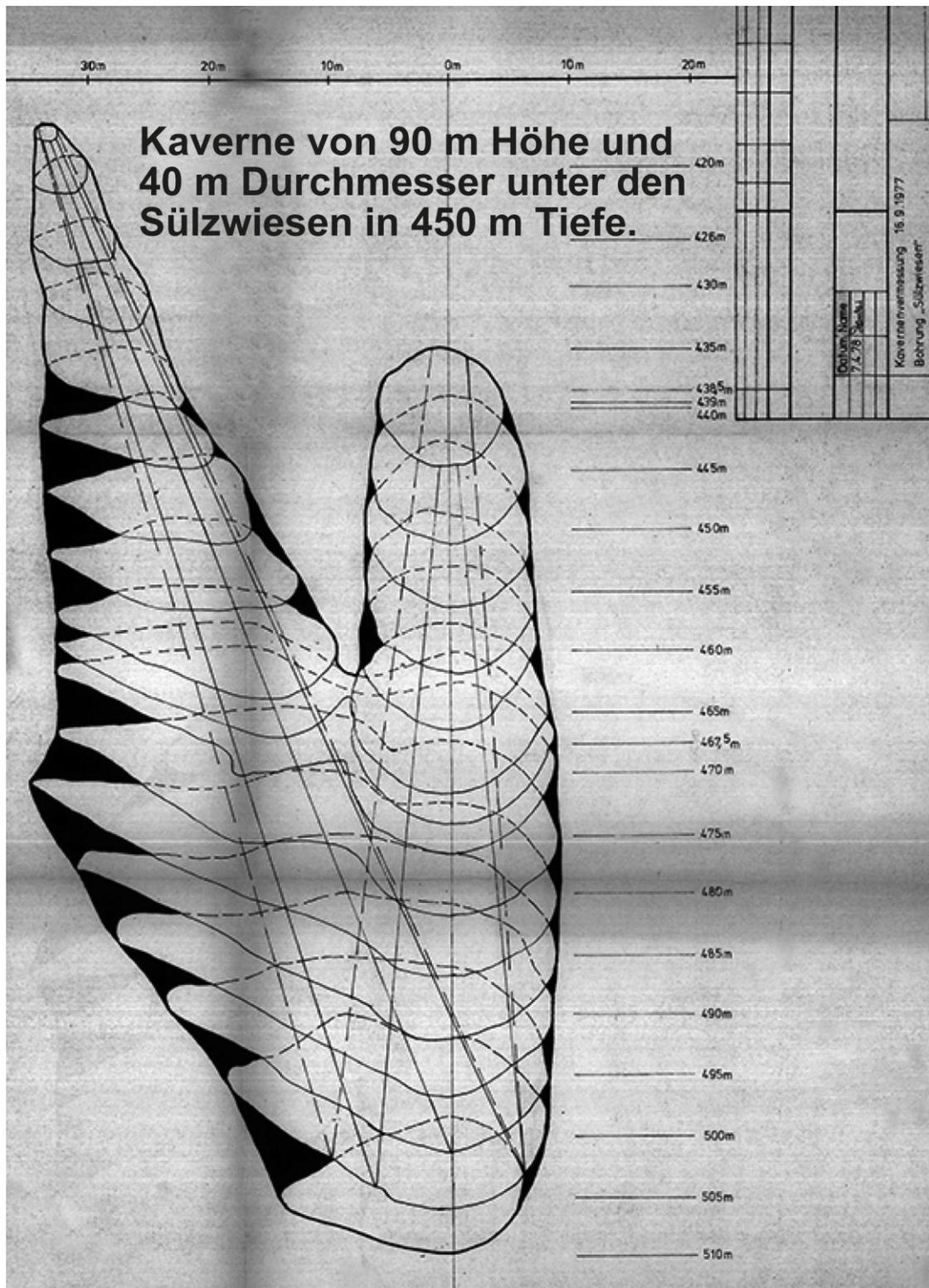


Abb. 3.7. Schemazeichnung der Auslaugungskaverne 450 m unter den Sülzwiesen.

Bevor wir das Thema, Senkung-Pressung in Kapitel 4 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. 3.2. 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 abgelaugt wurde. Wenn die Höhe dieser Salzsäule dem mittleren Wert der Senkung über die gesamte Fläche entspricht, ist die Massenbilanz geschlossen.

In Abb. 3.2. 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 Senkungsrates in m/Jahr bzw. mm/Jahr zu bestimmen. Die Fläche der Ablaugung entspricht etwa 1 km^2 (Abb. 1.11.).

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. 4.7.). 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. 3.2. 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. 3.8. 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. 3.6.) verantwortlich war.

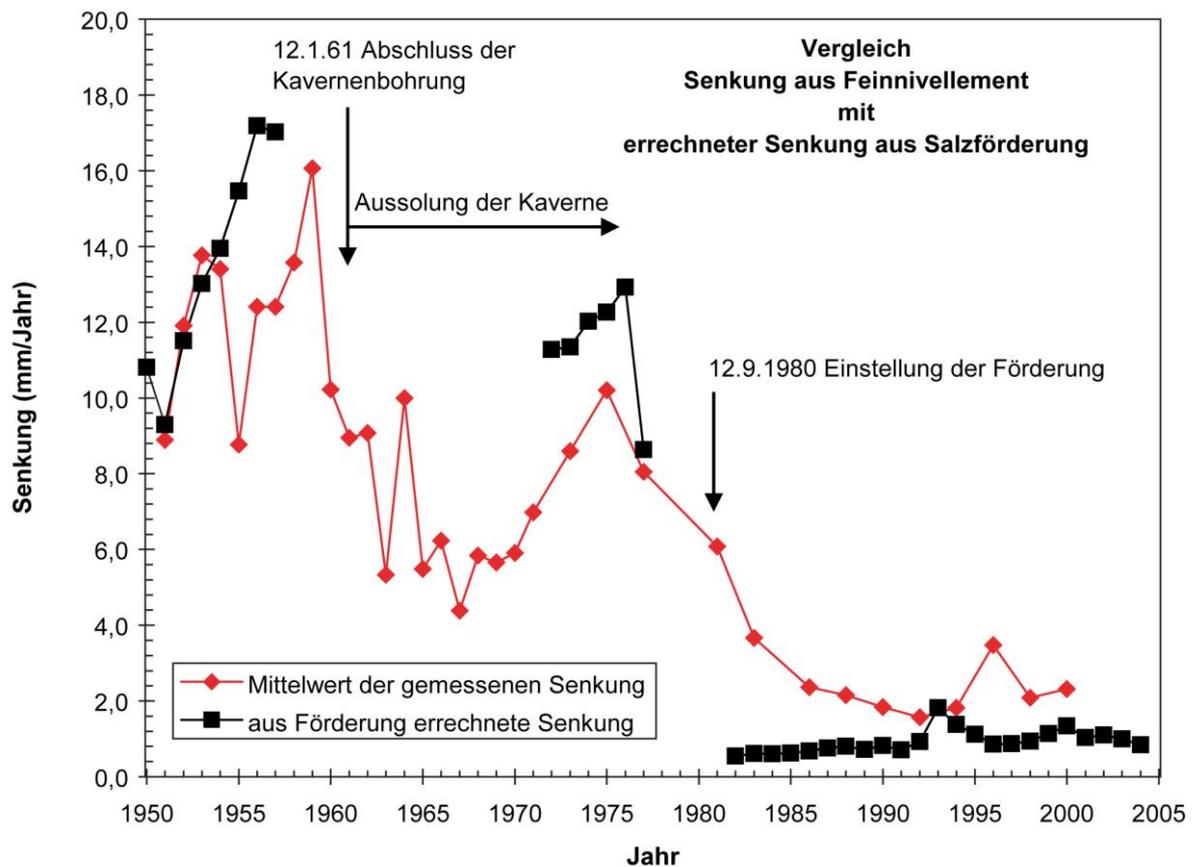


Abb. 3.8. Mittelwerte der geodätisch gemessenen jährlichen Senkungsbeträge seit 1950 im Vergleich zu errechneten Senkungsbeträgen aus der Soleförderung.

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 LG1 liegt auf dem Michaelisfriedhof, der Kern LG2 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. 5.2. 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 Bohrkernprofile werden in Abb. 3.9. 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. Kap. I). 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.).

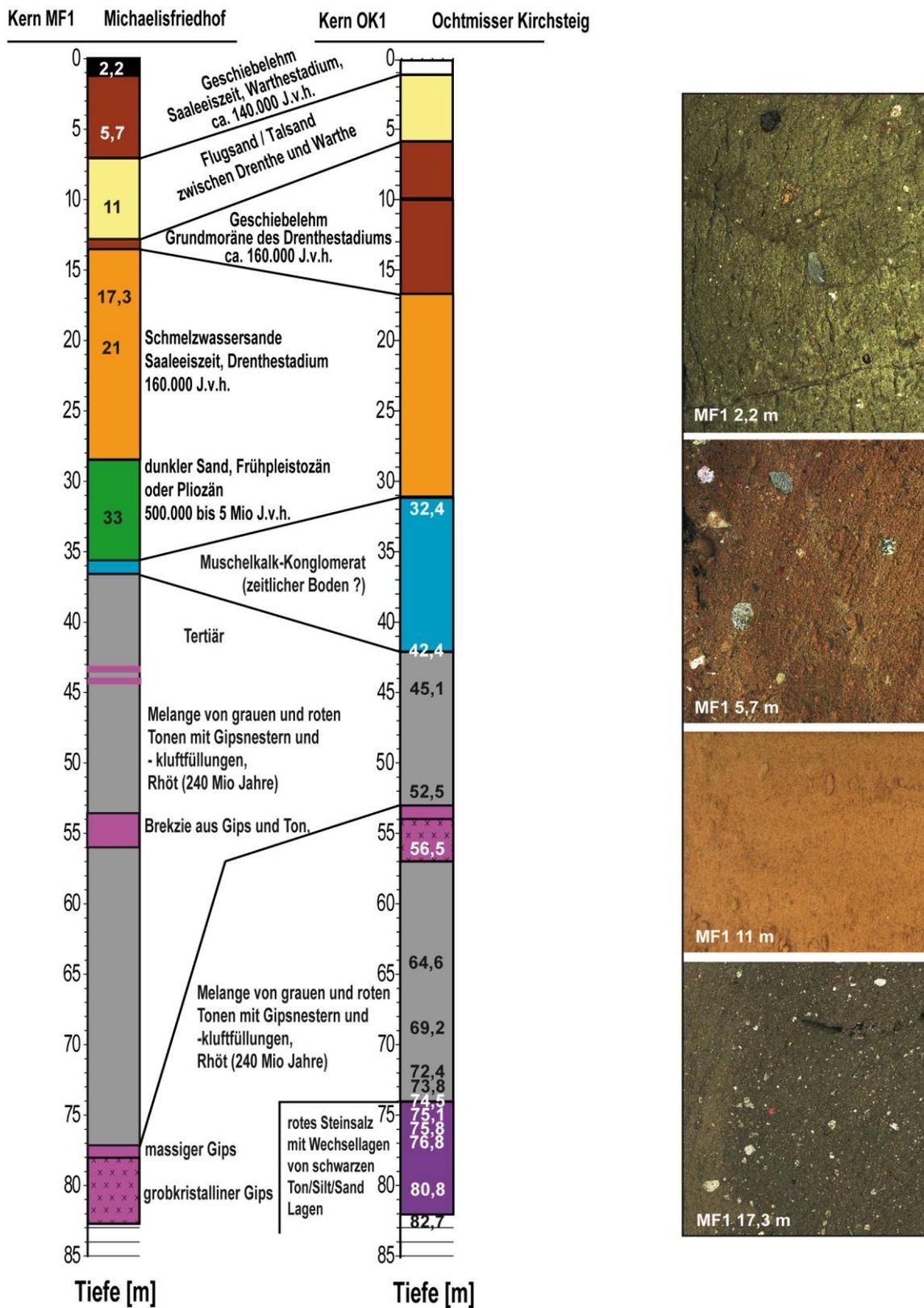
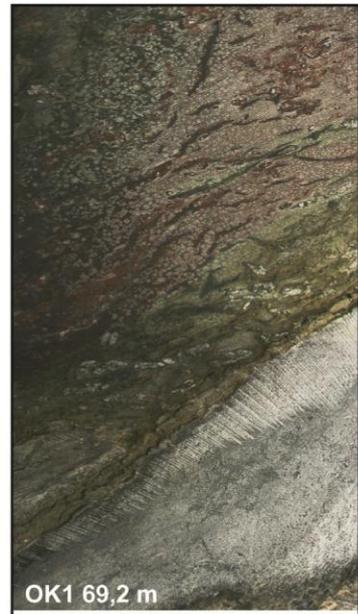


Abb. 3.9. Lithologisches Profil von Bohrungen am Ochtmisser Kirchsteig (OK1) und auf dem Michaelisfriedhof (MF1)



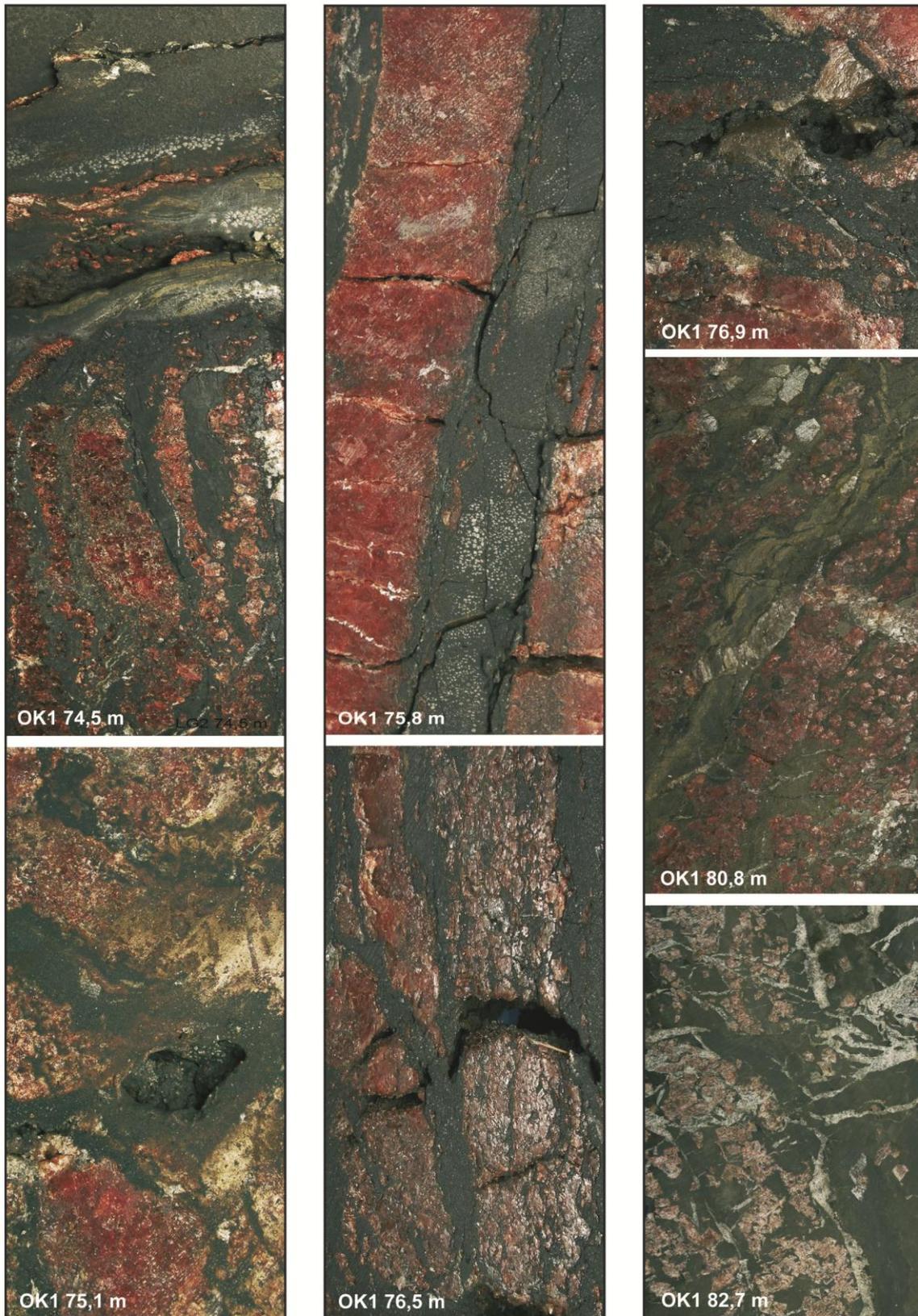


Abb. 3.10. Fotos der Lockersedimente und Gesteine in den Kernbohrungen Ochtmisser Kirchsteig (OK1) und Michaelisfriedhof (MF1).

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 (vgl. Abb. 1.9.a). 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.

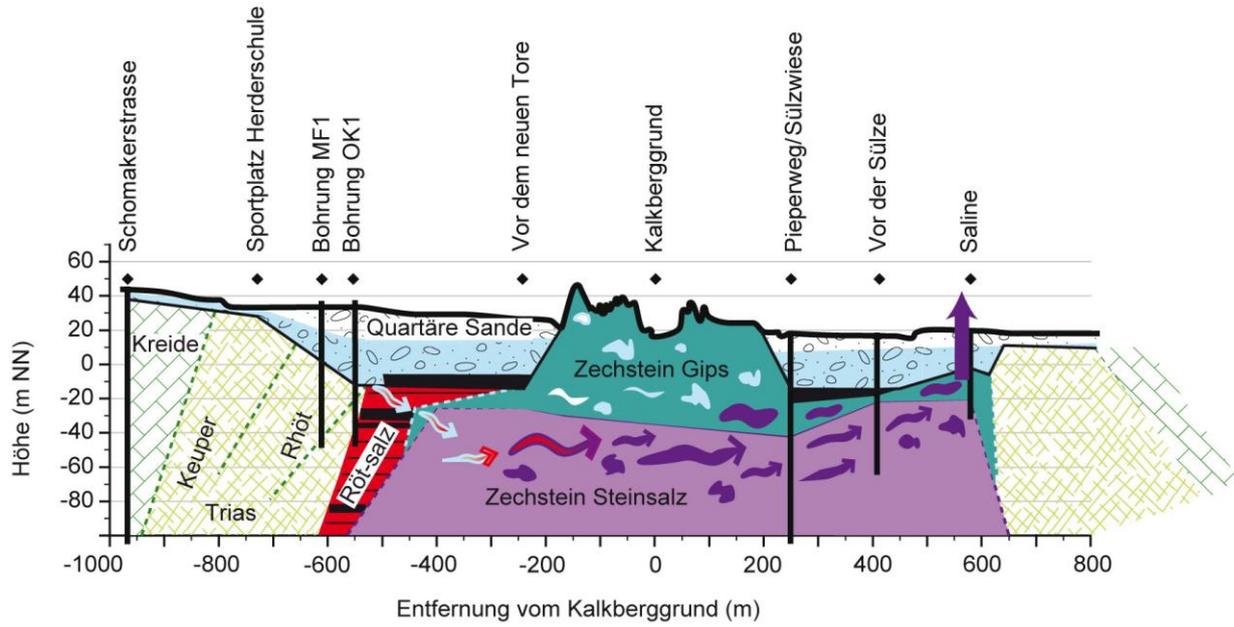
An der Basis dieser Sande finden sich in Kern MF1 Bruchstücke eines Kalkgesteins, das in Kern OK1 bei 32,4 m Tiefe gut erhalten ist. Hier liegen etwa 10 m eines sedimentären Konglomerats, d.h. gerundete Bruchstücke von Muschelkalk, einem typischen Gestein aus der oberen Trias. Der poröse Muschelkalk 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 (Abb.

1.5.) waren die Salzstöcke im Norddeutschen Becken schon im Aufstieg begriffen und sind teilweise an die Oberfläche durchgebrochen. Salz und Gips wurden erst gelöst und sind dann in den Sümpfen der Randsenken wieder auskristallisiert (siehe auch die Schemazeichnung Abb. 1.10.). 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. 4.6. - 4.8. und 5.2.).

a)



b)

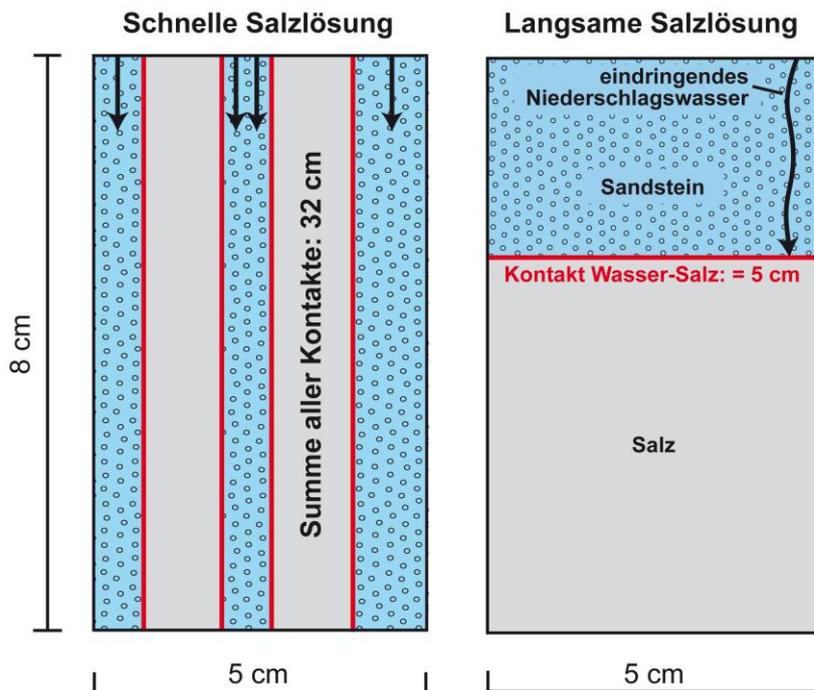


Abb. 3.11. a) Geologischer Schnitt durch den Kalkberg und oberen Teil des Salzstocks, rekonstruiert aus den tiefen Bohrungen der Saline und den beiden Bohrungen vom Ochtmisser Kirchsteig. b) Schemazeichnung der Lösung im Rötgips und auf dem Salzspiegel des Zechstein Salzes.

Die Abb. 3.11. 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 Bohrlokationen. 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. 3.11. 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. Damit kommen wir im Kontext des Soleflusses wieder auf die kommunizierenden Röhren, die in Abb. 2.1. vorgestellt waren.

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. 3.11. 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 Gipskutes 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. 3.11. 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. 3.12. 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 im Anhang). Interpretiert wurden sie allerdings schon immer als Einsturz von Hohlräumen im Gips unter der Erdoberfläche.



Abb. 3.12. 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 Gipshut 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. 3.13.) 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. 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.

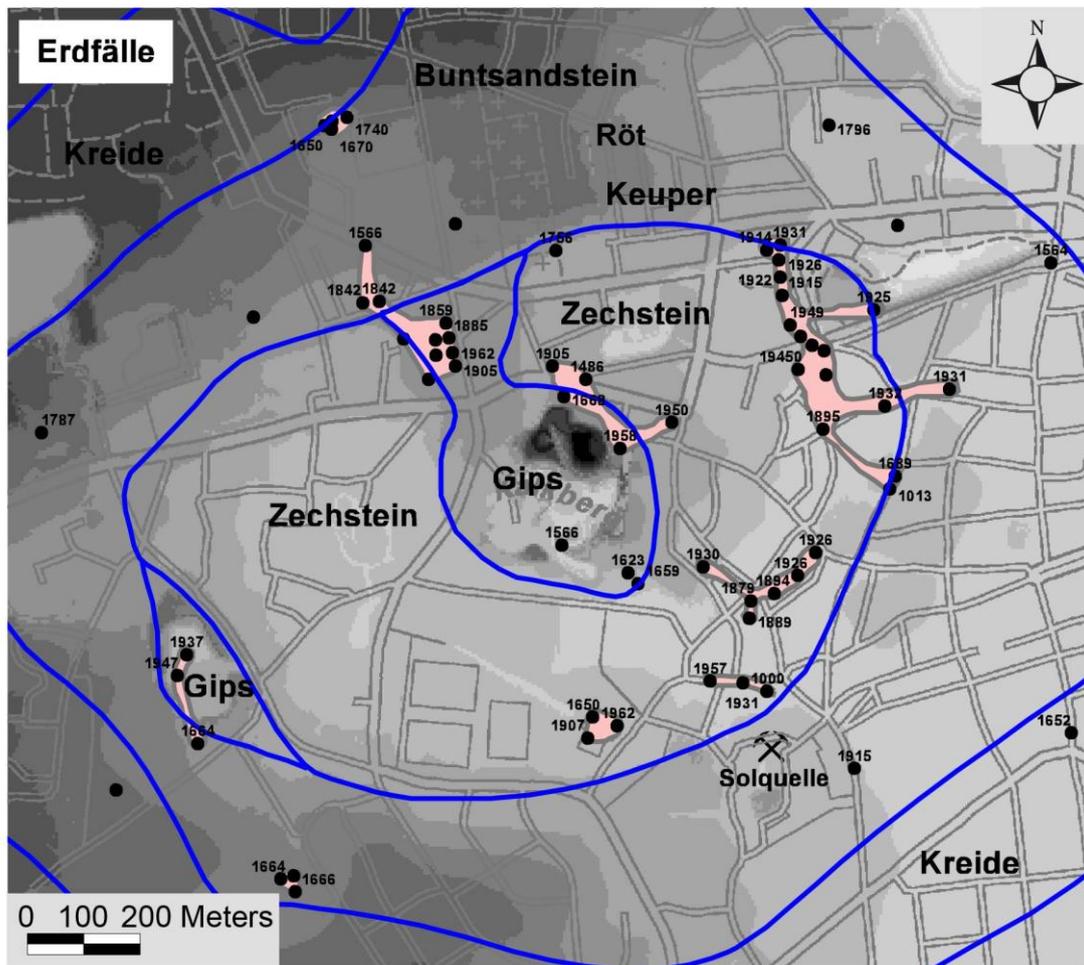


Abb. 3.13. Höhenschichtmodell mit Stadtplan, geologischer Karte und historisch beschriebenen Erdfällen mit Jahresangaben

Vereinzelte Erdfälle lassen sich auch außerhalb des Zechsteingipses beobachten. Etwa sieben von ihnen liegen in den Trias-Gesteinen Röt und Keuper, die wie das Zechsteinsalz stark ausgeprägte Gipslagen aufweisen. In den Bohrungen MF1 sowie OK1 sind diese Gipslagen bis zu 5 m mächtig, d.h. es können sich durchaus darin Höhlen bilden. Die am äußersten Rand beobachteten Erdfälle liegen auf der Grenze von Keuper zu Kreide. Einerseits gibt es auch im Keuper noch mächtige Gipslager, andererseits wirkt der Keuperton als Wasserstauer, so dass Grundwasser entlang der Grenze zur Kreide gestaut wird und durch Kalklösung sich in der Kreide Karsthöhlen bilden können. Solche Höhlen sind sicherlich seltener als Hohlräume im Gips, aber auf

der Schwäbischen Alb z.B. sind solche Kalkkarsthöhlen und deren Einbruchstrichter sehr häufig und werden als Dolinen bezeichnet. Bei den Erdfällen im Bereich der oberflächennah anstehenden Kreide könnte es sich also um Dolineneinsturztrichter handeln.

Eine Zeitreihe der Erdfälle verdeutlicht, wie lange es dieses Phänomen schon gibt. Die deutliche Häufung im 20. Jahrhundert weist aber wiederum auf den gravierenden Einfluss der extrem starken Soleentnahme seit dem Ersten Weltkrieg hin (Abb. 3.2.). 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.

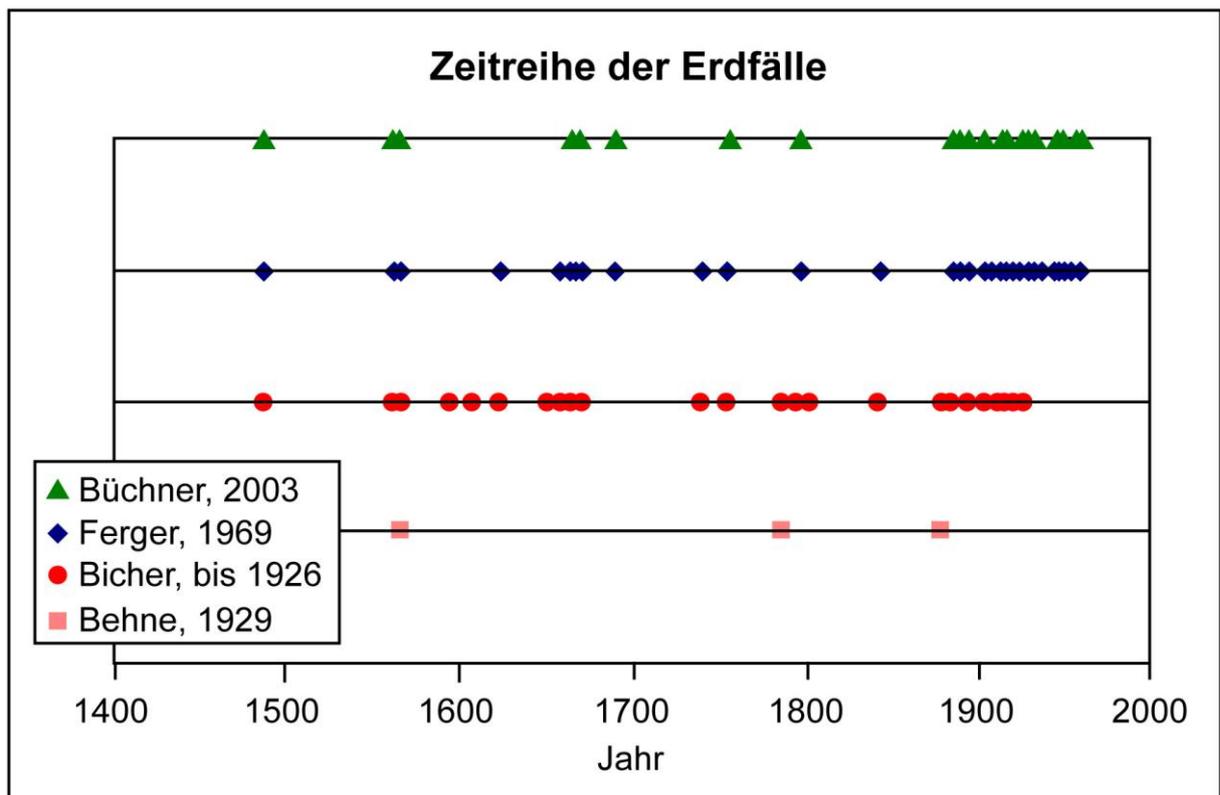


Abb. 3.14. Zeitreihe historisch beschriebener Erdfälle seit dem Mittelalter

Kapitel 4: Zeitliche Entwicklung der Senkung

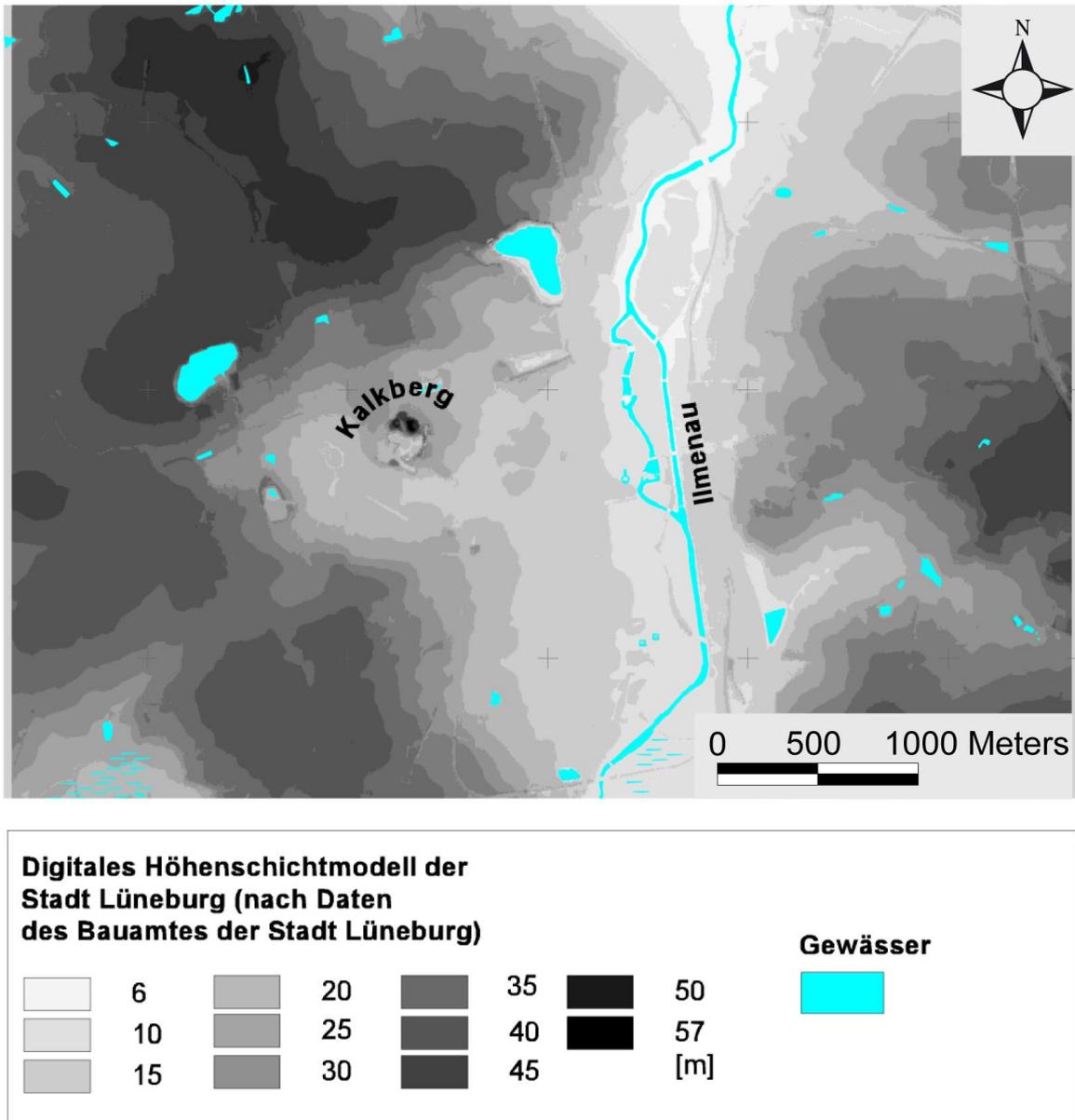


Abb. 4.1. Digitales Höenschichtmodell der Stadt Lüneburg mit Lage des Senkungsgebiets

Das digitale Geländemodell in den Abbildungen zeigt deutlich, dass der Kessel von Lüneburg fast kreisrund ist und einen ursprünglich kontinuierlich durchlaufenden Höhenzug einer NW-SE verlaufenden saalezeitlichen Endmoräne unterbricht (vgl. Abb. 4.1). 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.

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. 4.2.). Daraus ergibt sich ein sogenannter hydrostatischer Druck, der von den Höhenzügen in den Kessel wirkt.

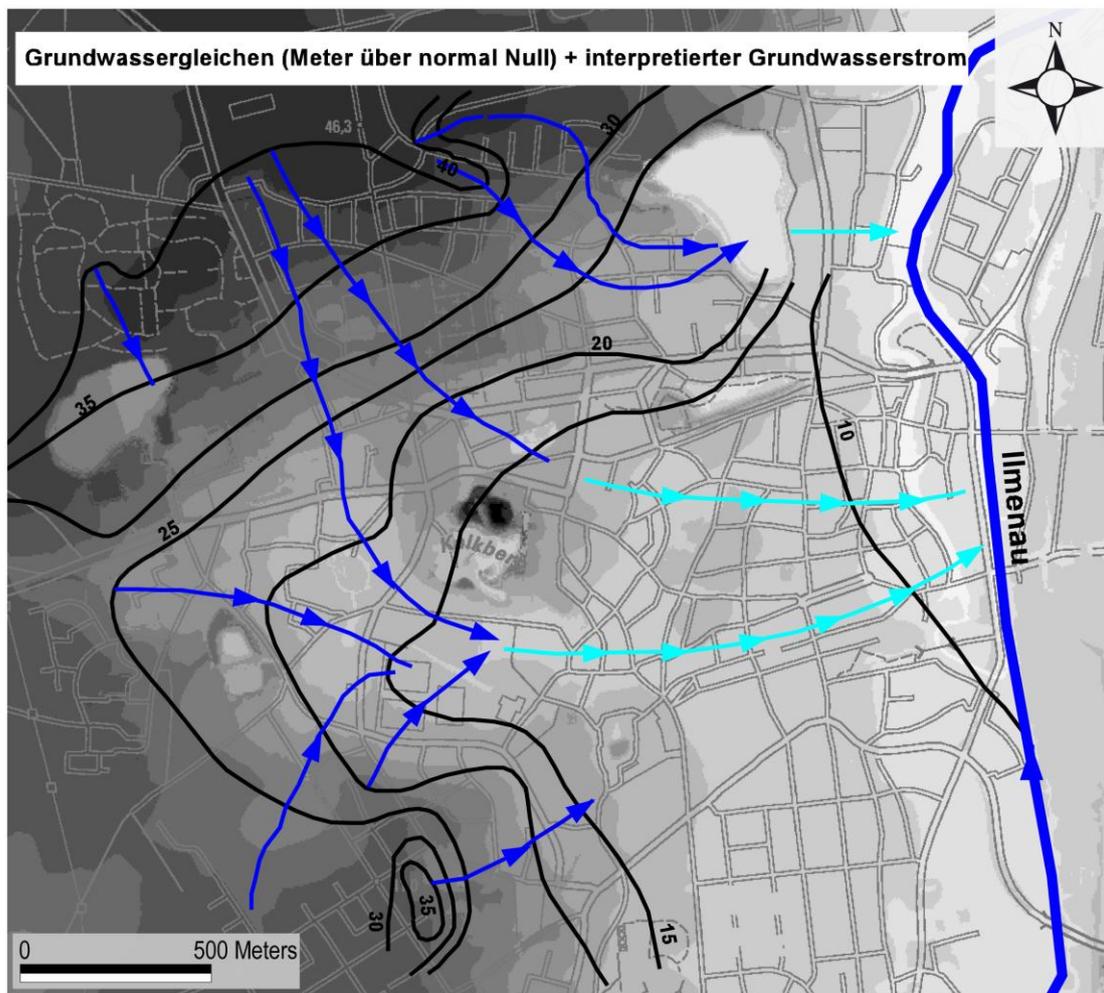


Abb. 4.2. Digitales Höhengschichtmodell mit Straßennetz und Grundwassergleichen, d.h. Linien gleicher Grundwasserhöhe über dem Meeresspiegel.

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. 4.2. 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.

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.

Wird noch eingefügt

Abb. 4.3. Foto eines Vermessungsbolzens mit Theodolit.

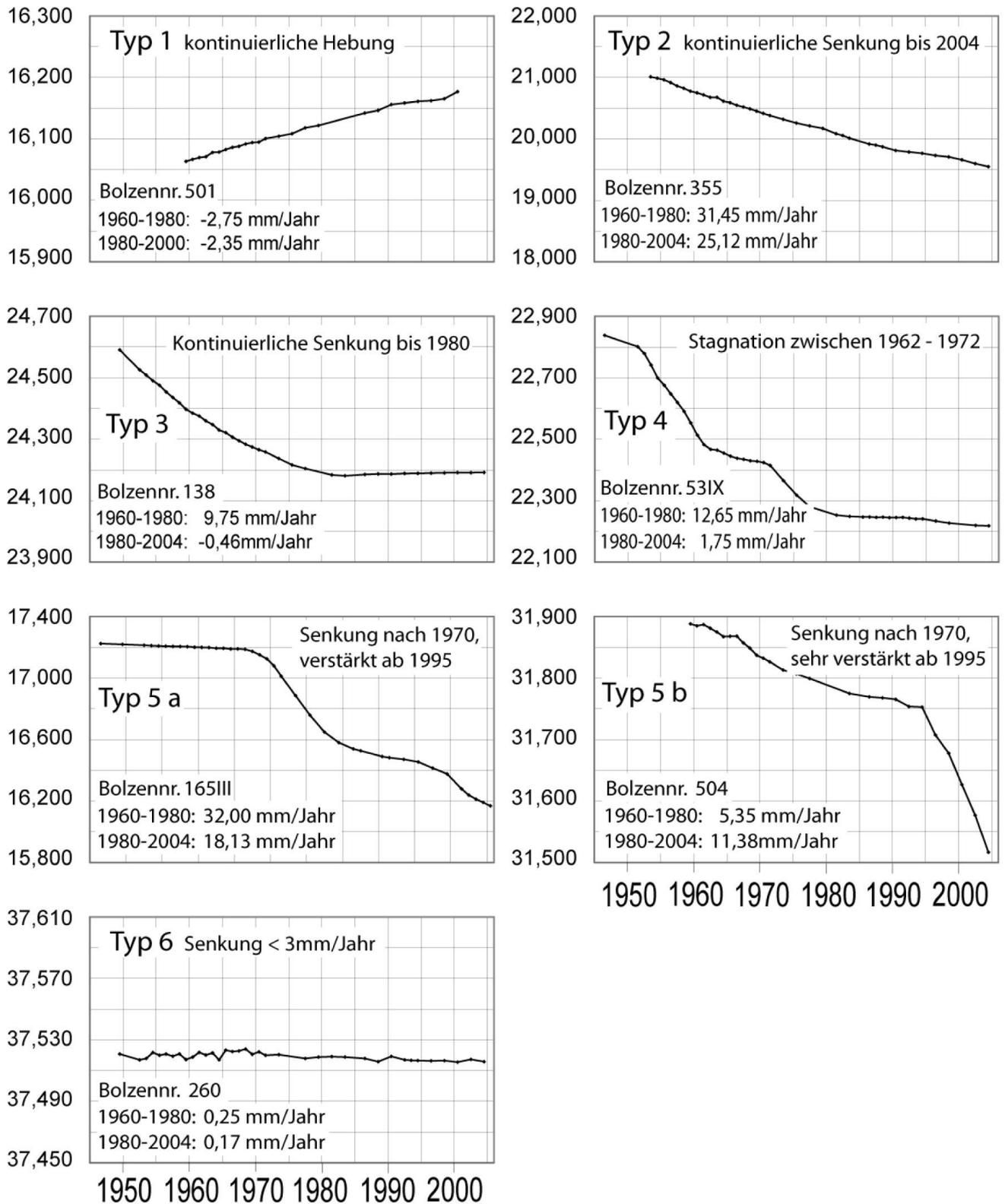


Abb. 4.4. Zeitreihen des Senkungsverlaufs mit verschiedenen Senkungstypen

Abb. 3.3. und 3.4. 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. 4.3.) 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 dieses Buch wurden alle Senkungszeitreihen ausgedruckt; dabei zeigt sich, dass es sechs typische Kurvenverläufe über die letzten 60 Jahre gibt. Abb. 4.4. zeigt typische Vertreter dieser Senkungszeitreihen. Trägt man diese 6 Typen in eine Karte der Altstadt ein, zeigen sich deutliche regionale Muster (Abb. 4.5.).

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. 4.11.). Der Typ 5 ist damit der für die heutigen Verhältnisse wichtigste, und wir werden daher diesen Kurvenverlauf in Kapitel 5 weiter betrachten.

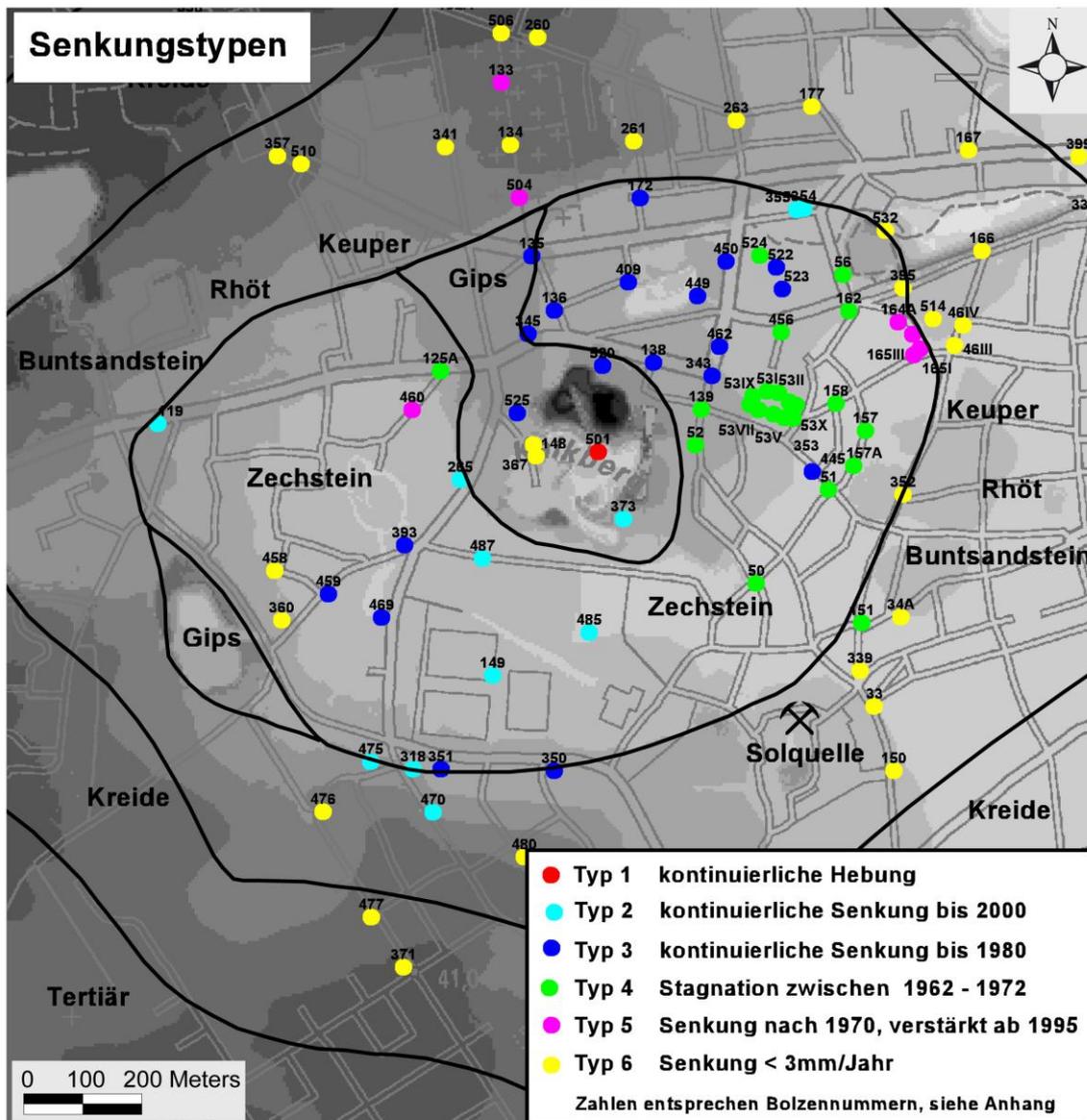


Abb. 4.5. Höhengschichtmodell mit Stadtplan, Verteilungsmuster der Senkungstypen und Bolzennummern

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. 4.6.). 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. 4.7.). 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. 4.8.).

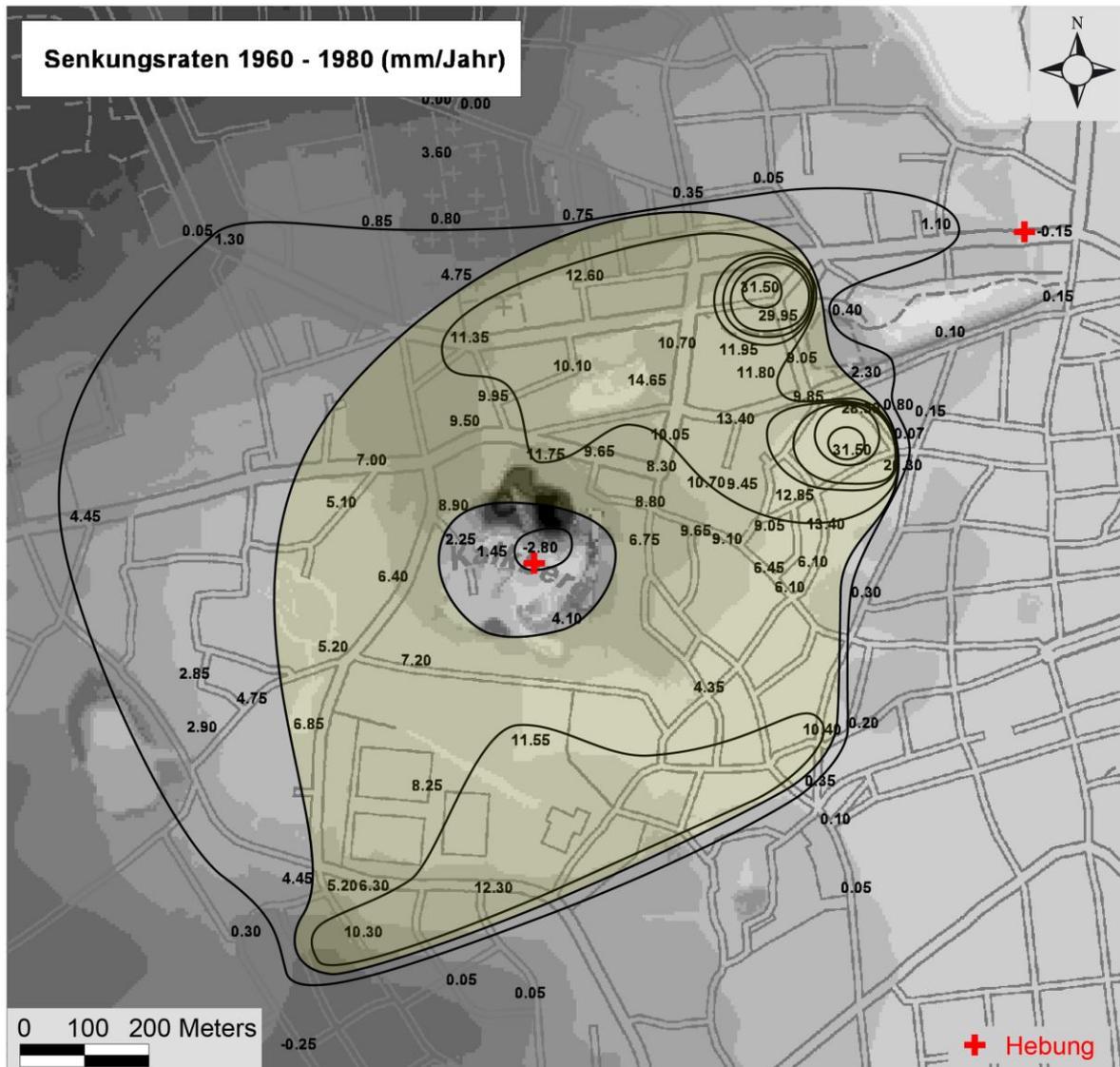


Abb. 4.6. Höhengschichtmodell mit Senkungsraten 1960 – 1980

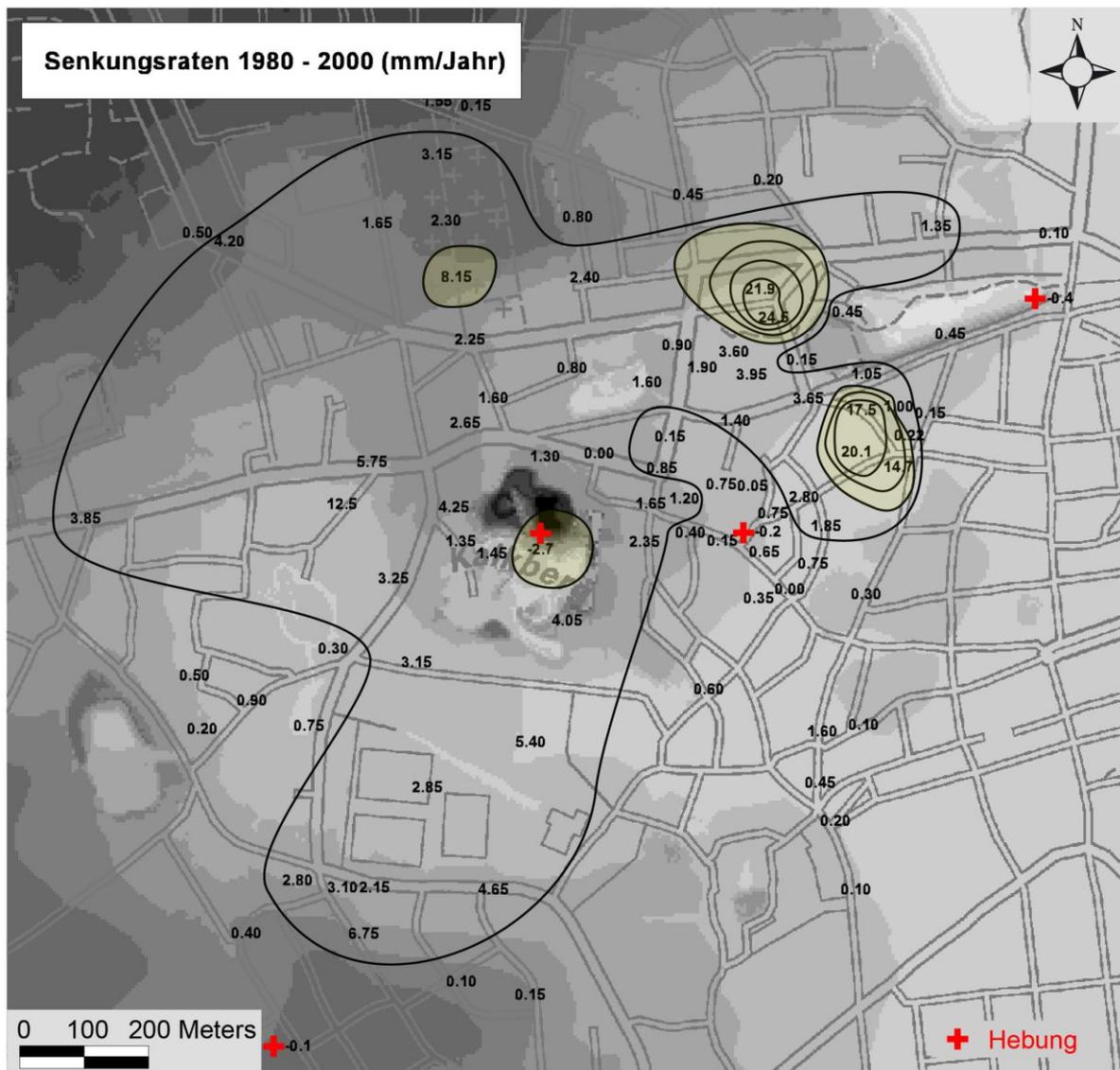


Abb. 4.7. Höhengschichtmodell mit Senkungsdaten 1980 – 2000

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 in Kap. 5 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

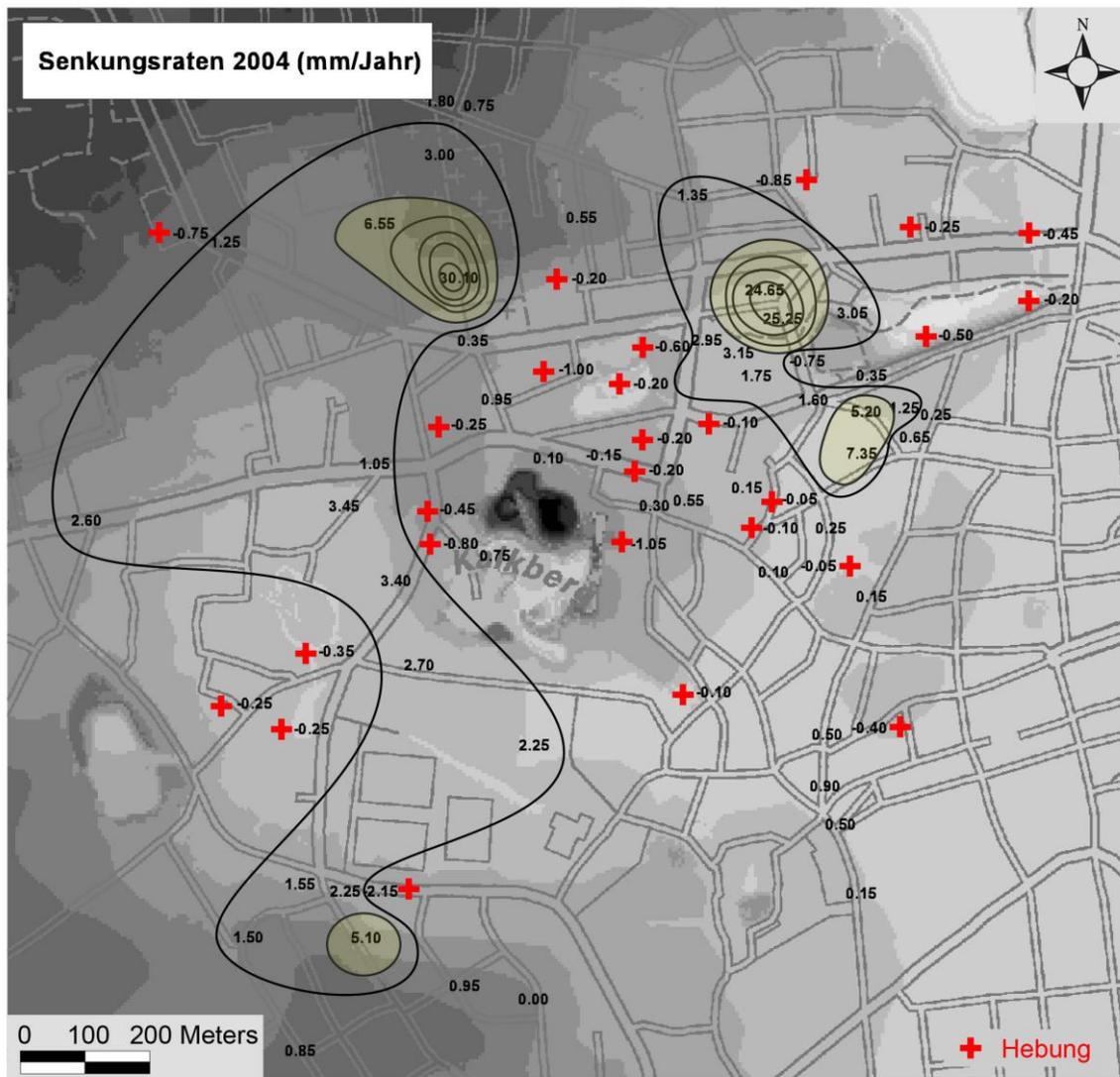


Abb. 4.8. Höhengschichtmodell mit Senkungsdaten 2004

- 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.

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.

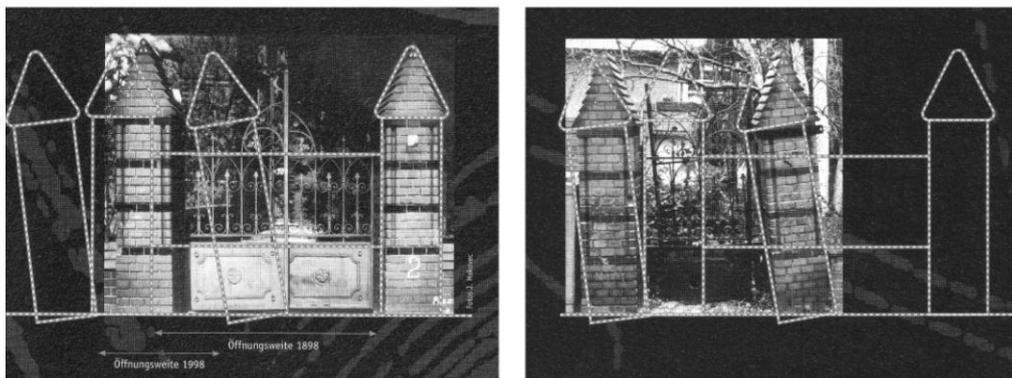


Abb. 4.9. Gartentor Frommestraße 2 und 3, 1898 und 2005 (Lamschus, 2000)

Ein historisches Foto des Hauses Frommestraße 2 und 3 zeigt, dass praktisch über Nacht ein mehrstöckiges Gebäude zerdrückt wurde (Abb. 3.3.). 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. 4.9.).

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. 4.10.). 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.

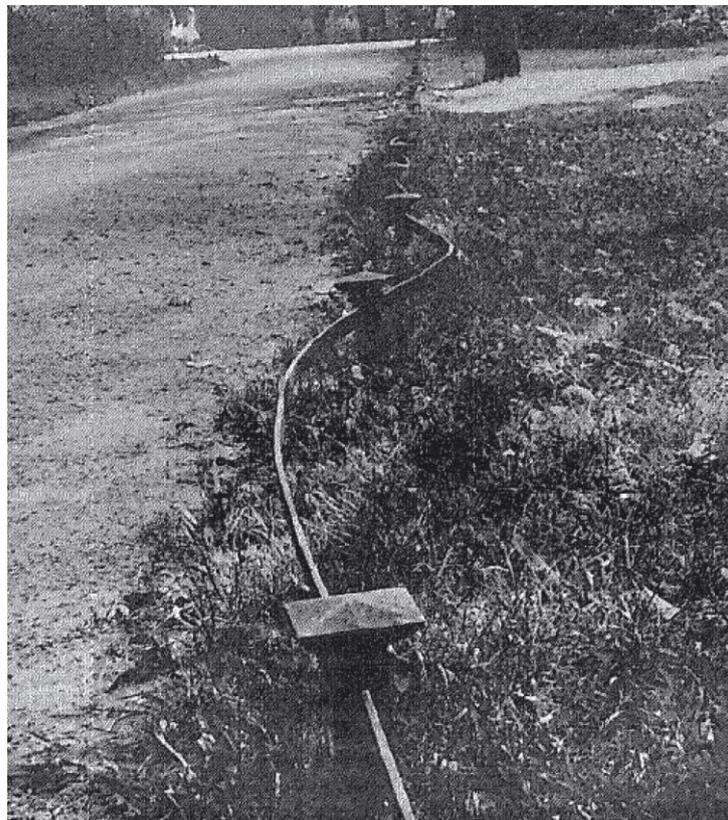
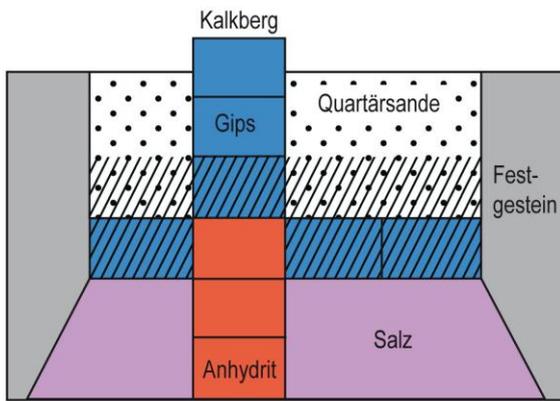


Abb. 4.10. Durch Pressungen verbogenes Geländer auf dem Kaiser-Wilhelm-Platz

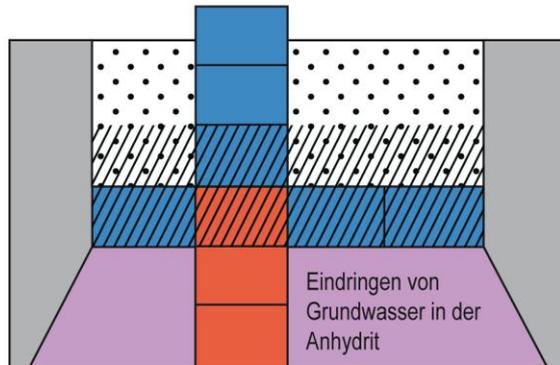
Gips ist ein Mineral aus Calciumsulfat und Wasser ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$). Er bildet sich aus Anhydrit (CaSO_4), der bei Wasseraufnahme auf das 1,6fache Volumen aufquillt. Alle Salzstöcke Norddeutschlands zeigen in ihrem Inneren mächtige Schichtpakete von Anhydrit, der sich schon 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. 4.12., 4.13.).



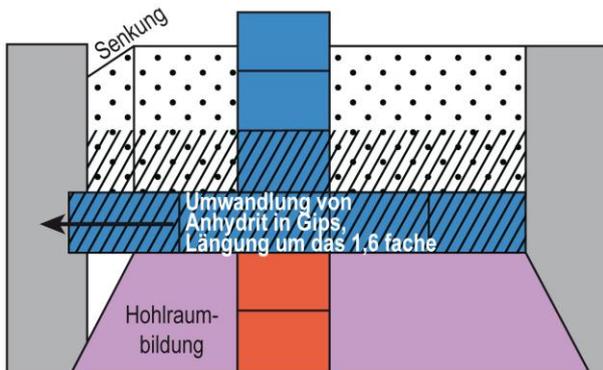
Abb. 4.11. Risse im anstehenden Gips des Kalkberggrunds, entstanden 1994 oder 1995 durch Anhydritquellung. Foto: F. Sirocko



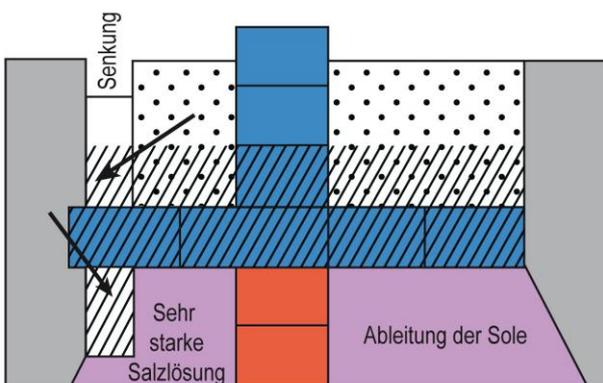
Ausgangszustand vor 1995



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 Kalkberg-
grund 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. 4.12. Profilartige Schemazeichnung der Auswirkungen einer Umwandlung von Anhydrit zu Gips in einem theoretischen Schnitt.

Abb. 4.12. 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. 4.13.).

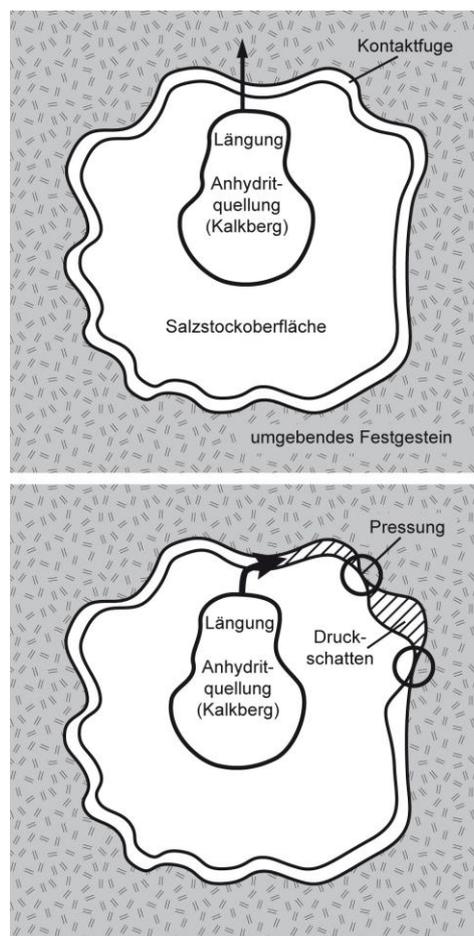


Abb. 4.13. Kartographische Schemazeichnung der Auswirkungen einer Umwandlung von Anhydrit zu Gips in einer Ebene.

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 Salz-Stockwerk hinunter gelangen kann. 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 Gipsst, 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.

Kapitel 5. 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 (vgl. Abb.2.10.). 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 (vgl. 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.4.4. – 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. 4.11.). Die Versatzrate beträgt in den Rissen im Mittel 50 cm/Jahr, und drückt in Richtung Norden, d.h. Richtung Ochtmisser Kirchsteig wo die Senkung auf dem Michaelisfriedhof mit 30 mm im Jahr 1996 schlagartig einsetzt (Abb. 4.4. Typ6), 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. 5.1.); 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. 5.2.).



Abb. 5.1. 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. 3.10.).

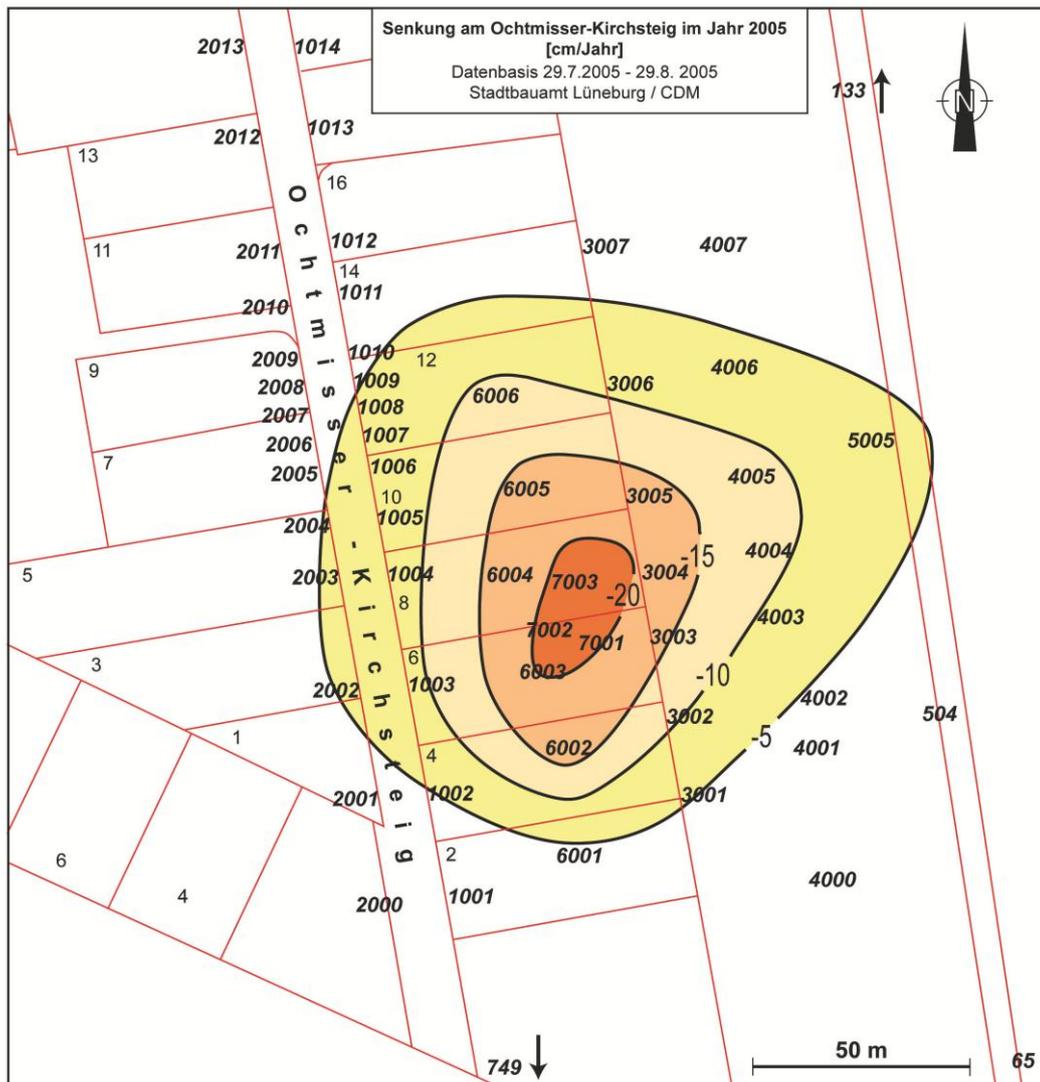


Abb. 5.2. Karte der Senkungen am Ochtmisser Kirchsteig im Jahr 2005

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. 4.13.). 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. 5.1) 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. 3.10. Foto 42,4m), im porösen, kristallinen Gips (vgl. Abb. 3.10. Foto 56,5 m) und auch im Salz (vgl. Abb. 3.10. 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.

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. 4.8.). 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 Quellungs Vorgang im Jahr 1995 zustande kam. 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. 3.2.). Die Entfernung vom Ochtmisser Kirchsteig zum Salinengelände beträgt nur etwa 800 Meter. Nach den Kernfotos in Abb. 3.10. 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.

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.

Monatsmittel der Niederschläge

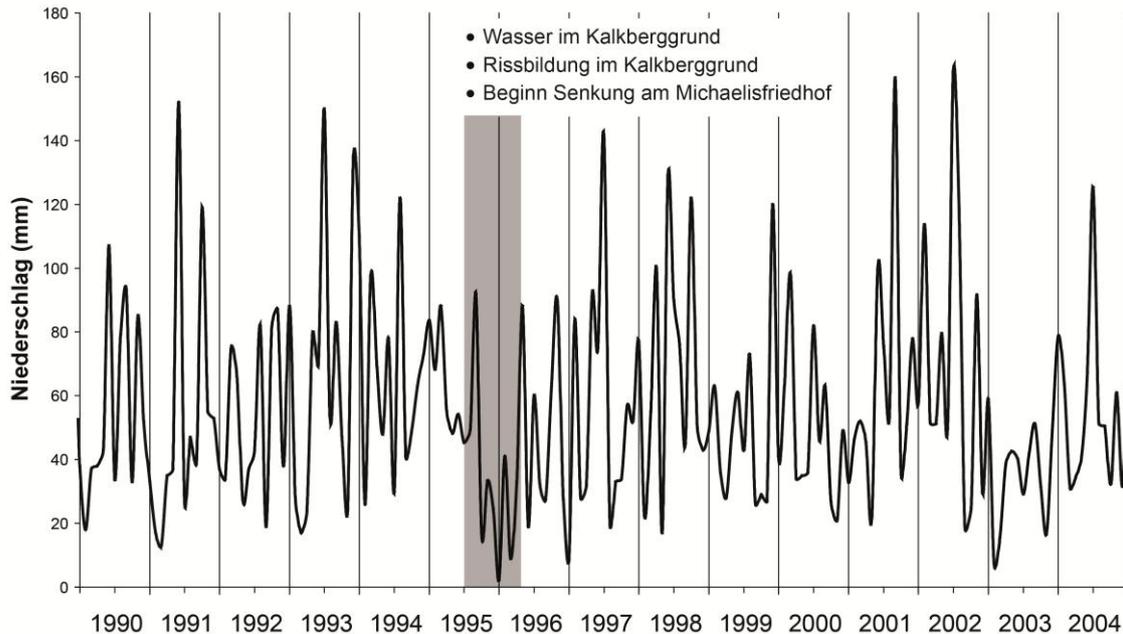


Abb. 5.3. Zeitreihe der Niederschläge in Lüneburg nach Messungen der Stadtverwaltung Lüneburg/Abt. Umwelt

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. Dieses Buch 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 dieses Buch 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/>

Arndt, N. & Crasemann, J. Lüneburg – Historische Salzstadt a. d. Ilmenau (Stadtführere)
Schöningh Verlag Lübeck.

Baldschuhn, R. Franz Binot; Stephanie Fleig; Franz Kockel. (2001). Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor - Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie - Deutsch-Englisch, Geologisches Jahrbuch Reihe A, Band A 153, 88 Seiten

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.

Böker, D. 2010: Hansestadt Lüneburg mit Kloster Lüne. (Baudenkmale in Niedersachsen 22.1)
Imhof Verlag, Petersberg, 640 Seiten,

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

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

Güth, T. (2006). Ursachen und regionale Verteilung von Subrosion im Norddeutschen Becken.
Diploma Thesis, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Heinen (1908). Der Salzhandel Lüneburgs mit Lübeck bis zum Anfang des 15. Jahrhunderts,
Berlin.

Keilhack, K. (1912). Erläuterung zur Geol. Karte von Preussen, Lief. 108, Blatt Lüneburg. Berlin.

- Keilhack, K. (1921). Erläuterungen zum geologischen Meßtischblatt Lüneburg (Geologische Karte von Preußen, Gradabteilung 25, Blatt 43, bearbeitet von Keilhack 1910/11).
- Krüger, Franz u. Reinecke, Wilhelm: Die Kunstdenkmäler der Provinz Hannover. III. Regierungsbezirk Lüneburg, 2. und 3. Stadt Lüneburg. Hannover 1906 (Neudruck: Kunstdenkmälerinventare Niedersachsens, Band 34. Osnabrück 1980)
- Lamschus, H. and W. A. Hofmann (2000). verSALZen, verSENKT, beSTADTet. Lüneburg, Wulf Lüneburg.
- Lehne, R., Sirocko, F. (2010) Recent vertical crustal movements and resulting surface deformation within the North German Basin (Schleswig-Holstein) derived by GIS-based analysis of repeated precise leveling data, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, Volume: 161, Issue: 2, 175-188 DOI: 10.1127/1860-1804/2010/0161-0175
- Mosler-Christoph, Susanne (1998). Die materielle Kultur in den Lüneburger Testamenten 1323 bis 1500, Elektronische Dissertationen der Georg-August-Universität Göttingen, URL der Dissertation: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/1998/mosler/inhalt.htm>
- Pleiß, H. and H. Welke (1959). Stadt auf dem Salz. Die Geheimnisse des Lüneburger Untergrundes. Lüneburg, Nordland-Druck.
- Roth, J. (1853). "Beiträge zur Geogn. Kenntnis Lüneburgs." Zeitschrift der deutschen Geol. Ges. 5.
- Schmidek, R. (1958). Bericht zu dem Senkungsnivellement 1957/58. Lüneburg.
- Sirocko, F., Szeder, T., Seelos, K., Lehne, R., Diehl, M., Rein, B. & Schneider, W.M. and Dimke, M. (2002). Young tectonic and halokinetic movements in the North-German-Basin: its effect on formation of modern rivers and surface morphology. Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw 81 (3-4): 431-441.
- Sirocko, F., Reicherter, K., Lehné, R.W., Hübscher, Ch., Winsemann, J., Stackebrandt, W. (2008). Glaciation, salt and the present landscape. In: Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D., Nelskamp, S. (Eds.) Dynamics of Complex Intracontinental Basins – The Central European Basin System. Springer Berlin Heidelberg, p. 519; 234-245
- Stoller, J. (1918). Geol. Führer durch die Lüneburger Heide. Braunschweig.

Anhang

Weitere Materialien zu diesem Buch befinden sich auf der Webseite:

<http://www.lueneburg-und-das-salz.de>

- Schichtenverzeichnisse aller tiefen Bohrungen aus dem Lüneburger Stadtgebiet und Verzeichnis historisch aufgezeichneter Erdfälle
- Zwei Gutachten von Stadtgeometer Fritz Bicher
- Zusammenstellung allgemein- und geowissenschaftlicher Literatur zum Thema Lüneburg und das Salz