

Die Rekonstruktion der Paläotopographie des Aachener Kessels

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von **M. Sc.**

Bernhard Pröschel

aus Erlangen

Berichter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Frank Lehmkuhl
Professorin Dr. Renate Gerlach

Tag der mündlichen Prüfung: 25. November 2019

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Frank Lehmkuhl für seine ständige Gesprächsbereitschaft, zahlreichen wertvolle Ratschläge, motivierenden Worte und vor allem die Möglichkeit zur freien wissenschaftlichen Entfaltung.

Stellvertretend für das LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland danke ich Renate Gerlach und Jürgen Kunow für die mehrfache, finanzielle Unterstützung des Vorhabens. Ich bedanke mich außerdem bei Frau Krebs und Frau Rehkopp vom Ortsarchiv des LVR, die mir bei meinen langwierigen Recherchearbeiten im Archiv immer beratend zur Seite standen.

Auch bei der Gesellschaft für Erdkunde zu Köln e.V. bedanke ich mich für die finanzielle Unterstützung im Rahmen der Dr. Hohmann-Förderung.

Mein besonderer Dank gilt Andreas Schaub und Markus Pavlovic von der Stadtarchäologie Aachen für die teilweise intensive Teilnahmemöglichkeit an Grabungen im Stadtgebiet sowie die regelmäßige Überlassung von aktuellsten Daten und Erkenntnissen zur Archäologie in Aachen.

Ich bedanke mich bei Susanne Frey-Wehrmann und Herrn Quil von der Stadt Aachen (Fachbereich Umwelt) für die Bereitstellung der geologischen Datenbank und für Informationen zu den modernen Aufschüttungen im Stadtgebiet.

Ich danke allen Mitarbeitern des Lehrstuhls, insbesondere Verena Esser, Isabel Pipaud, Michael Buchty-Lemke, Philipp Schulte, Georg Stauch, Gernot Frommelt, Martin Knippertz und Wolfgang Römer für viele konstruktiven Gespräche, aufmunternden Worte sowie freundschaftliche Zusammenarbeit im Büro und im Gelände.

Zuletzt gilt mein herzlicher Dank meiner Freundin Janet, meinem Vater Peter, meiner Mutter Barbara sowie meinen Geschwistern Wolfgang und Caroline für ihre umfassende Unterstützung während der gesamten Promotion sowie beim Lektorieren der Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
2 STAND DER FORSCHUNG	3
3 UNTERSUCHUNGSGEBIET	7
3.1 Geologie, Tektonik und Thermalquellen	9
3.2 Boden und Vegetation	17
3.3 Geomorphologie	18
3.3.1 Aachener Wald und Lousberg	18
3.3.2 Markthügel	21
3.3.3 Gewässer und Auenbereiche	22
4 ARCHÄOLOGISCHER UND HISTORISCHER HINTERGRUND	24
4.1 Vorgeschichtliche Besiedlung	24
4.2 Römische Besiedlung	27
4.3 Karolinger	30
4.4 Mittelalter	32
4.5 Frühe Neuzeit	35
4.6 Industrialisierung	37
4.7 Der 2. Weltkrieg	40
5 DATENMATERIAL UND METHODEN	42
5.1 Datenbestand	42
5.1.1 Geologische Bohrdaten	42
5.1.2 Archäologische Dokumentationen	46
5.1.3 Historisches Kartenmaterial und Literatur	49
5.1.4 Digitale Geländemodelle	50
5.2 Methoden	52
5.2.1 Digitales Geländemodell und DGM-Derivate	52
5.2.2 Bearbeitung der historischen Karten	55
5.2.3 Auswahl der Daten aus den geologischen und archäologischen Quellen	56
5.2.4 Raster Interpolation	59
5.2.5 Gewässerrekonstruktion	72
5.2.6 Ausweisung historischer Zonen	73
5.2.7 Rekonstruktion der „Flut von Aachen“	75
5.2.8. Validierung der Modellierung	79
6 ERGEBNISSE	89
6.1 Evaluierung	89
6.1.1 GOK-Werte	89

6.1.2. Paläotopographie und anthropogene Schichten	94
6.1.3. Tiefenwerte.....	98
6.2 Die Paläotopographie des Aachener Kessels.....	100
6.2.1 Die Topographie des historischen Innenstadtbereichs	100
6.2.2 Die Topographie des gesamten Kessels.....	103
6.3 Der ehemalige Verlauf der Aachener Fließgewässer.....	106
6.4 Die anthropogenen Schichten des Aachener Kessels	107
6.4.1 Die Schichten des historischen Innenstadtbereichs.....	108
6.4.2 Die Schichten des gesamten Kessels	113
6.5 4D-Analyse des historischen Stadtkerns.....	119
6.5.1 Das vorrömische Relief.....	119
6.5.2 Das spätrömische Relief	123
6.5.3 Das mittelalterliche Relief	128
6.5.4 Das Neuzeitliche Relief.....	129
6.5.5 Das moderne Relief	134
6.5.6 Volumen der anthropogenen Schichten.....	138
6.6 Verlagerung von Trümmerschutt des 2. Weltkriegs	140
6.7 Die Flut von Aachen	147
6.7.1 Wasserstandhöhen	147
6.7.2 Dammverlauf	149
6.7.3 Dammvolumen und Bauzeit	152
6.7.4 Volumen und Einstaudauer des Wassers	154
7 INTERPRETATION & DISKUSSION	156
7.1 Evaluierung	156
7.2 Die Paläotopographie	159
7.3 Die ehemaligen Bachverläufe	162
7.4 Die anthropogenen Schichten.....	165
7.5 Die 4D-Analyse.....	168
7.6 Die Verlagerung von Trümmerschutts des Zweiten Weltkriegs.....	172
7.7 Die „Flut von Aachen“	173
8 SCHLUSSFOLGERUNGEN	175
9 ZUSAMMENFASSUNG	176
10 SUMMARY	178
LITERATUR	181
ANHANG	196

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topographie des Stadtgebiets Aachen mit dem Untersuchungsgebiet (gelbe Markierung). Im Zentrum liegt der nach Nordosten und Osten offene innere Kessel.....	8
Abbildung 2: Geologischer Aufbau des Aachener Stadtgebiets (Quelle:eigene Darstellung auf Grundlage von NILSON 2006).....	11
Abbildung 3: Naturräumliche Gliederung des Stadtgebiets (Quelle: LEHMKUHL 2011).	13
Abbildung 4: Lage der beiden Quellzüge vor dem Hintergrund der Geologie im Aachener Stadtgebiet (Quelle: eigene Darstellung nach NILSON 2006).	15
Abbildung 5: Geomorphologische Hohl- und Vollformen im Aachener Wald.....	20
Abbildung 6: Stadtplan des römischen Aachens (Quelle: SCHAUB 2017).....	28
Abbildung 7: Zerstörte Gebäude (hellgrau) 1949 im Innenstadtbereich. Intakte Gebäude sind schwarz markiert (Quelle: CURDES 1999).	41
Abbildung 8: Ausschnitt aus der ingenieur-geologischen Karte mit markierten Bereichen des Tallehms und der anthropogenen Aufschüttungen.	43
Abbildung 9: Das Untersuchungsgebiet innerhalb des Aachener Stadtgebiets mit der Verteilung der geologischen Bohrpunkte.	44
Abbildung 10: Verteilung der archäologischen Maßnahmen im historischen Kernstadtbereich.....	47
Abbildung 11: Beispiel einer Profilzeichnung einer archäologischen Maßnahme mit Höhenangaben der Geländeoberkante.....	48
Abbildung 12: Ausschnitt aus dem DGM1 im Bereich des Markthügels mit Relikten die im weiteren Verlauf korrigiert wurden.....	51
Abbildung 13: Prozess der DGM-Korrektur am Beispiel einer Baugrube die künstlich verfüllt wurde um die eigentliche Geländeoberfläche wiederherzustellen.....	53
Abbildung 14: Filterung des DGM1 im Bereich des Markthügels. Das Profil lässt erkennen, wie durch die Filterung extreme Geländekanten abgeschwächt werden, während der generelle Geländeverlauf erhalten bleibt.....	54
Abbildung 15: Grundprinzip der Natural Neighbor-Interpolation am Beispiel des Aachener Markthügels. Jedem Höhenmesspunkt wird eine Fläche zugeordnet. Am zu interpolierenden Punkt q wird ein neues Polygon aus den jeweiligen Flächenanteilen erzeugt.	63
Abbildung 16: Beispiel eines Variogramms für ein exponentiales Model. (Quelle: eigene Darstellung nach ARCGIS (2019c).....	65
Abbildung 17: Die archäologischen Datenpunkte sowie das sich hieraus ergebende Untersuchungsgebiet für die 4D-Analyse.	69
Abbildung 18: Ablaufschema des Prozesses der Gewässerrekonstruktion.	72
Abbildung 19: Historische Zonen im Aachener Innenstadtbereich. Die Zonen dienten als Grundlage für die Volumenberechnungen.....	74

Abbildung 20: Geometrie des Staudamms. Die Breite der Dammkrone c sowie die Böschungsneigung (und damit auch der Winkel), werden als konstant über den gesamten Dammverlauf angenommen. Die Breite der Basis a ist abhängig von der sich je nach Geländesituation ändernder.....	78
Abbildung 21: Zeitliche Verteilung der Entstehung der geologischen Datensätze.	83
Abbildung 22: Standorte an denen Werte für die Tiefenevaluierung gewonnen werden konnten. Für die Detailausschnitte siehe Abb. 27.	88
Abbildung 23: Abweichung der GOK-Werte aus den Datengrundlagen (Geologie und Archäologie) vom DGM1.	90
Abbildung 24: Korrelationsdiagramme und Variogramm-Parameter der verwendeten Kriging-Interpolationsverfahren.	95
Abbildung 25: Verhalten der Abweichung der Datenpunkte vom Modell bei schrittweiser Vergrößerung der Datenmenge.	96
Abbildung 26: Vorhersagevarianz der Höhenwerte des Geländemodells bei Anwendung des Kriging-Verfahrens für die Modellierung der Paläotopographie.....	97
Abbildung 27: Standorte der Grabungen (links) sowie der Bohrungen (rechts), die für die Evaluierung der Tiefenwerte herangezogen wurden.	98
Abbildung 28: Das Paläorelief des historischen Innenstadtbereichs.....	101
Abbildung 29: Das Paläorelief des gesamten Aachener Kessels.	103
Abbildung 30: Veränderung der Hangneigung von der Paläooberfläche (links) zum rezenten Relief (rechts).....	104
Abbildung 31: Rekonstruktion der ehemaligen Bachläufe im Innenstadtbereich.	106
Abbildung 32: Anthropogene Schichten im Innenstadtbereich. Für die Profile s. Abb. 33 und 34.....	108
Abbildung 33: Querprofil der Paläotopographie sowie der anthropogenen Schichten durch den Innenstadtbereich. Die historischen Zonen I - IV sind in Kapitel 5.2.6 beschrieben. Für den Verlauf des Profils s. Abb. 32.	109
Abbildung 34: Längsprofil der Paläotopographie sowie der anthropogenen Schichten durch den Innenstadtbereich. Für die markierten Detailprofile der Stadtmauerbereiche s. Abb. 36 und 37. Für den Verlauf des Profils s. Abb. 32.	111
Abbildung 35: Detailprofil des nordöstlichen Stadtmauerbereichs. Für die genaue Lage des Profils s. Abb. 34 und 32.	112
Abbildung 36: Detailprofil des südwestlichen Stadtbauerbereichs. Für die genaue Lage des Profils s. Abb. 34 und 32.	113
Abbildung 37: Anthropogene Schichten des gesamten Untersuchungsgebiets. Für eine Detaildarstellung des historischen Innenstadtbereichs (rote Markierung) s. Abb. 32.	114
Abbildung 38: Anthropogene Schichten (A) und die Entwicklung der Besiedlung im Untersuchungsgebiet (B). Dargestellt sind auch die in Kap. 4.6 beschriebenen gründerzeitlichen Viertel.....	116

Abbildung 39: Abfolge der durchschnittlichen Tiefen der modernen Siedlungshorizonte (idealisiert) im gesamten Untersuchungsgebiet.	118
Abbildung 40: Vorrömische Paläorelief des 4D-Untersuchungsgebiets mit dem Verlauf der in diesem Kapitel erstellten Geländeprofile	120
Abbildung 41: Die Änderung der Hangneigung im Bereich des Markthügels vom Paläorelief (links) zur aktuellen Oberfläche (rechts) in Grad.	121
Abbildung 42: Querprofil der Paläooberfläche über den Markthügel. Verlauf siehe Abb. 41.	122
Abbildung 43: Längsprofil der Paläooberfläche über den Markthügel. Verlauf siehe Abb. 41.	123
Abbildung 44: Spätromische Topographie des 4D-Untersuchungsgebiets mit dem vermuteten Verlauf der Wehranlage.	124
Abbildung 45: Geländezuwachs im Laufe der römischen Epoche.	126
Abbildung 46: Querprofil der römischen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.	127
Abbildung 47: Längsprofil der römischen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb.40.	128
Abbildung 48: Querprofil der mittelalterlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.	129
Abbildung 49: Neuzeitliche Topographie (1656) des 4D-Untersuchungsgebiets.	130
Abbildung 50: Geländezuwachs zwischen der römischen Besiedlung und dem Jahr 1656.	131
Abbildung 51: Querprofil der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.	132
Abbildung 52: Querprofil (alternativer Verlauf) der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.	133
Abbildung 53: Längsprofil der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.	134
Abbildung 54: Rezente Oberfläche des 4D-Untersuchungsgebiets.	135
Abbildung 55: Geländezuwachs seit dem Jahr 1656.	136
Abbildung 56: Topographie des Jahres 1900 (links) und deren Differenz zur rezenten Oberfläche (rechts).	137
Abbildung 57: Volumenzuwachs der anthropogenen Schichten im 4D-Untersuchungsgebiet in akkumulierter Darstellung.	138
Abbildung 58: Potentielle Bereiche mit Trümmerschutt. Für die Profile s. Abb. 62, 63 und 64.	141
Abbildung 59: Topographische Karte von 1939 mit digitalisierten Höhenlinien (links) und das daraus abgeleitete Höhenmodell.	142
Abbildung 60: Differenz (Geländezuwachs bzw. - abtrag) zwischen der Oberfläche von 1939 und dem rezenten DGM.	143

Abbildung 61: Profil der Trümmerhalde Nr. 1 (Eupener Straße).....	144
Abbildung 62: Profil der Trümmerschutthalde Nr. 2 (Gillesbach).....	145
Abbildung 63: Profil der Trümmerschutthalde Nr. 5 (Roermonder Straße). Die gestrichelte Linie zeigt die ehemalige Haldenoberfläche vor dem Abtrag für den Straßenbau.	145
Abbildung 64: Auf Grundlage des Paläo-DGMs modellierter Überflutungsbereich. Die in den Quellen beschriebene Ausdehnung des Wassers bis zum Katschhof entspricht hier einer Höhe von 166,5 m ü. NN.	148
Abbildung 65 : Geländeprofil, sowie Dammlänge und –höhe an dem in RHOEN (1894) vorgeschlagenen Verlauf. Um die in Abb. 64 markierten Bereiche zu überfluten, müssen die Dammkronen mindestens auf 166,5 m ü. NN (Paläorelief) bzw. 169,5 m ü. NN (modernes Relief) liegen. .	149
Abbildung 66: Auf Basis des Paläo-DGMs optimierter Verlauf des Staudamm sowie der Staudamm nach RHOEN (1894) am Zusammenfluss der Bäche aus dem inneren Aachener Kessel.....	151
Abbildung 67: Geländeprofil entlang des optimierten Dammverlaufs mit der notwendigen Höhe und Länge des Staudamms.	152
Abbildung 68: Längsprofile und Profilflächen der drei Dammvarianten.	152
Abbildung 69: Burtscheider Thermalquellenzug vor dem Hintergrund der Paläotopographie und den anthropogenen Schichten.....	161
Abbildung 70: Die Rekonstruierten Bachverläufe vor dem Hintergrund der anthropogenen Schichten. Die weißen Pfeile markieren die deutlichen Abweichungen zum rezenten Verlauf.	163
Abbildung 71: Vergleich der anthropogenen Schichten Aachens mit anderen französischen Städten. Zum Verlauf des Aachener Profils in der Mitte s. Abb.33.	166
Abbildung 72: Entwicklung der Oberfläche beginnend mit der vorrömischen Paläotopographie bis zur rezenten Oberfläche (oben). In der Mitte ist der horizontale Geländezuwachs zwischen den Epochen dargestellt. Der untere Bereich zeigt das Querprofil aus Kapitel 6.5.4.	169

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel eines Datensatzes aus den geologischen Bohrdaten.....	45
Tabelle 2: Gesamtzahl sowie aussortierte Datensätze der geologischen Datengrundlage.....	57
Tabelle 3: Gesamtzahl sowie aussortierte Datensätze der archäologischen Datengrundlage.....	59
Tabelle 4 Parameter der geologischen Daten, die für die Evaluierung herangezogen wurden. Die Zahlen geben die Anzahl der jeweils untersuchten Datensätze an.	84

Tabelle 5: Durchschnittliche Abweichung (in m) sowie R^2 und RMSE der beiden Datenquellen.	90
Tabelle 6: Durchschnittliche Abweichung (in m) der GOK-Höhenwerte der Bohrdaten zum DGM1. Die geringsten Abweichungen weisen die geodätisch eingemessenen Punkte (grün markiert) auf.	92
Tabelle 7: Statistische Parameter und Fehlerwerte der verschiedenen Interpolationsverfahren. Grün markiert sind die Verfahren die für die finale Interpolation herangezogen wurden.	94
Tabelle 8: Ergebnisse der Tiefenwert-Evaluierung. Die Werte stellen die Abweichung in m dar. In der rechten Spalte ist die Entfernung der Standorte zu den nächsten Datenpunkten angegeben.	99
Tabelle 9: Hangneigungswerte der Paläooberfläche und des rezenten Reliefs.	105
Tabelle 10: Schichtstärken sowie Volumen für die einzelnen historischen Zonen. Zone IV (alternativ) zeigt die Werte ohne die hohen Aufschüttungsbereiche entlang der Stadtmauer.	110
Tabelle 11: Schichtstärke, Volumen und Fläche der anthropogenen Schichten für die einzelnen Siedlungsbereiche. (SD=Standardabweichung).	117
Tabelle 12: Hangneigungen der Paläo- sowie der rezenten Oberfläche.	121
Tabelle 13: Volumen der anthropogenen Schichten im 4D-Untersuchungsgebiet. ...	139
Tabelle 14: Fläche, Volumen und maximale Schichtstärke der Trümmerdeponien. Bei Nr. 4 ist der Trümmerschuttcharakter der Aufschüttung fraglich.	146
Tabelle 15: Volumen, Längsprofilflächen und Abmessungen der drei rekonstruierten Dammverläufe.	153
Tabelle 16: Bauzeiten der drei Dammvarianten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Arbeitskräftezahl.	153
Tabelle 17: Volumen und Oberfläche des gestauten Wassers für die drei rekonstruierten Dammverläufe.	154
Tabelle 18: Einstauzeiträume der drei rekonstruierten Dammverläufe bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen.	155

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Kupferstich Aachen von 1576.	196
Anhang 2: Tranchot-Karte 1805.	197
Anhang 3: Rappard-Plan 1860.	198
Anhang 4: Königlich-Preussische Landesaufnahme 1895.	199
Anhang 5: Topographische Karte 1939.	200
Anhang 6: Korrelationsdiagramme der GOK-Werte.	201

1 Einleitung

Das Gebiet der heutigen Stadt Aachen kann auf eine lange Besiedlungsgeschichte zurückblicken. Beginnend mit der jungsteinzeitlichen Nutzung der Feuersteinvorkommen auf dem Lousberg oberhalb der Stadt (WEINER 1998), über die römische Besiedlung im Bereich der Thermalquellen am Markthügel (SCHAUB 2011c), bis zur Neuzeitlichen Stadterweiterung in östliche Richtung sowie den Zerstörungen des Zweiten Weltkriegs (CURDES 1999).

Diese lange und bewegte Geschichte findet sich regelmäßig in den archäologischen Befunden im Aachener Stadtgebiet wieder. Durch die seit den Römern ununterbrochene Siedlungstätigkeit lässt sich an vielen Stellen eine Mächtigkeit der archäologischen Schichten von mehreren Metern nachweisen (KELLER 2004). Daraus ergibt sich, dass die ersten Siedler eine Topographie vorgefunden haben müssen, die sich von der heutigen Oberfläche zum Teil deutlich unterscheidet. Diese Paläotopographie wurde dann im Lauf der Jahrtausende durch menschliche Siedlungsaktivitäten umgestaltet.

In urbanen Räumen führen anthropogene Einflüsse häufig zu einer teilweise massiven Änderung der ursprünglichen Geländeoberfläche und zur Herausbildung einer komplexen Stratigraphie der Siedlungsschichten. Diese Schichtpakete repräsentieren wiederum verschiedene Siedlungsphasen und stellen Archive des menschlichen Wirkens in diesen Epochen dar (MOZZI ET AL. 2018). Die anthropogenen Schichten eines seit langer Zeit besiedelten Stadtgebiets weisen meist einen äußerst heterogenen Charakter auf, insbesondere im Vergleich zu den darunter befindlichen natürlichen Böden bzw. Ablagerungen. Diese Heterogenität bezieht sich zum einen auf die Zusammensetzung, die Korngröße und die Ausgangsmaterialien der Schichten (MCMILLAN & POWELL 1999; MATHER ET AL. 1996). Zum anderen unterscheiden sich die einzelnen Schichten aber auch in der Ablagerungsrate, d.h. dem Zeitraum, in dem sie sich gebildet haben. Dies führt zu einer unterschiedlich starken Schichtmächtigkeit der anthropogenen Schichten insgesamt, aber auch zu unterschiedlich starken Schichten einzelner Epochen (FORD ET AL. 2014; JAMES 2013; WATERS ET AL. 2016). Gemein ist den urbanen Siedlungsgebieten meist, dass

die lange Siedlungsdauer hier, im Gegensatz zu vielen Siedlungsgebieten im ländlichen Raum, zu einem horizontalen Anwachsen des Geländes führt (GOLDBERG & MACPHAIL 2006; MOZZI ET AL. 2018).

Die Rekonstruktion der ursprünglichen Landschaften und Oberflächen in urbanen Räumen stellt insofern eine Herausforderung dar, da neben der komplexen Stratigraphie der Siedlungsschichten diese meist aufgrund dichter Bebauung und Versiegelung der rezenten Oberfläche nicht zugänglich sind (HOLLIDAY 2004). In ländlichen Regionen lässt sich eine große Bandbreite geoarchäologischer und geophysikalischer Methoden anwenden, um die Paläotopographie zu rekonstruieren (SARRIS ET AL. 2018; VAN LANEN ET AL. 2014; WESTLEY ET AL. 2014). Neben Bodenradar und Geoelektrik, können gelegentlich auch flächendeckende Bohrkampagnen durchgeführt werden, um hieraus letztendlich Rückschlüsse auf die ehemalige Oberfläche ziehen zu können (RAPP & HILL 2005; STEIN 1986). In Stadtgebieten mit langer Siedlungsgeschichte ist der bodennahe Untergrund dagegen häufig durch Gebäudereste, sowie Versorgungs- und Abwasserleitungen dahingehend gestört, dass geophysikalische Methoden häufig an ihre Grenzen stoßen (RAPP & HILL 2005). Obwohl Bohr- und Grabungsmaßnahmen äußerst wertvolle Informationen über die Stratigraphie liefern können (GOLDBERG & MACPHAIL 2006 SCHULDENREIN & AIUVALASIT 2011) ist ihre Anwendung im urbanen Raum, aufgrund der Bodenversiegelung sowie rechtlicher Einschränkungen ebenfalls nur bedingt möglich.

Nichtsdestotrotz ist für die Rekonstruktion der Paläotopographie eine möglichst umfangreiche Datengrundlage notwendig. Aufgrund der oben genannten Probleme muss für solch eine Rekonstruktion auf bereits bestehende Daten zurückgegriffen werden. Solche Daten liegen in Stadtgebieten häufig in Form von geologischen Bohrkernen und archäologischen Grabungsdokumentationen vor.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zunächst eine Paläotopographie, d.h. eine Geländeoberfläche ohne menschlichen Einfluss für den Innenstadtbereich Aachens zu erstellen, sowie die Mächtigkeit der

anthropogenen Schichten in diesem Bereich zu visualisieren. Hierzu wurden primär archäologische und geologische Daten ausgewertet und mittels eines Geographischen Informationssystems (GIS) zu einem Digitalen Geländemodell (DGM), bzw. zu einer Karte der Schichtstärken interpoliert. Mit Hilfe dieser Modellierungen sowie weiteren Ableitungen aus diesen wurde dann überprüft, ob und inwiefern sich mit der hier angewandten Methode archäologische oder historische Fragen bezüglich der Stadtentwicklung Aachens beantworten lassen. Diese Überprüfung umfasste auch eine Evaluierung, d.h. eine Abschätzung der Genauigkeit der erlangten Ergebnisse. Aufgrund positiver Zwischenergebnisse wurde dann das ursprüngliche Untersuchungsgebiet des historischen Innenstadtbereichs auf den gesamten Aachener Kessel ausgeweitet. Darüber hinaus erlaubte die Datengrundlage unter Zuhilfenahme historischer Karten und Literatur für einen ausgewählten Bereich die zeitliche Aufschlüsselung des anthropogenen Schichtpakets.

Die Kernfrage der Arbeit lässt sich daher folgendermaßen zusammenfassen:

Welche Topographischen Voraussetzungen fanden die ersten Siedler vor ca. 2.000 Jahren vor, und wie hat der Mensch diese Oberfläche seitdem verändert?

Teile der vorliegenden Arbeit sind in PRÖSCHEL & LEHMKUHL (2019) und PRÖSCHEL (2018) veröffentlicht.

2 Stand der Forschung

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine interdisziplinäre Studie, die durch die Verschneidung geowissenschaftlicher Daten mit archäologischen und geschichtswissenschaftlichen Quellen neue Erkenntnisse zur topographischen Entwicklung des Aachener Stadtgebiets generieren will. Hierzu musste der Forschungsstand aus allen relevanten Teilbereichen sowohl regional als auch international vor dem Hintergrund der Fragestellung neu erarbeitet werden.

Eine wesentliche Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse die im Rahmen der Arbeit gewonnen werden konnten stellen Quellen zur Aachener Stadtgeschichte dar. Für diese existiert bislang noch keine vollständige Gesamtdarstellung. Der Grund hierfür liegt einerseits an der Vielzahl der auszuwertenden Literatur und einer großen Menge an Einzeldarstellungen zu verschiedenen Themenbereichen, die zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden müssen. Zum anderen gibt es vor allem aufgrund der Fund- und Quellenlage in einzelnen Zeitabschnitten einige Forschungslücken. Allgemein wurde Aachen bis zum frühen Mittelalter in schriftlicher Form, wenn überhaupt, nur am Rande erwähnt. Insbesondere die römische und karolingische Geschichte Aachens lässt sich fast ausschließlich über die Archäologie rekonstruieren. Aber auch für die Neuzeit bestehen erhebliche Lücken in der Geschichtsschreibung und –darstellung (KRAUS 2011).

Die ersten Werke, die sich auch kritisch mit dem Naturraum sowie der Topographie und deren Bedeutung für die Besiedlung beschäftigen, stammen von QUIX (1829) und HAAGEN (1879). Hervorzuheben seien in diesem Zusammenhang auch die Arbeiten von RHOEN (1891) und RHOEN (1894), in denen ausführlich die ehemaligen Befestigungsanlagen in ihrem Aufbau sowie ihrem Verlauf beschrieben werden. Hier wird auch starker Bezug zur Topographie genommen, welche entscheidend für den Bau der Stadtmauern war. Einschränkend muss ergänzt werden, dass RHOEN (1894) hier in erster Linie die Geländesituation und Topographie des späten 19. Jahrhunderts n. Chr., also dem Zeitraum der Erstellung der erwähnten Arbeiten, zugrunde legt.

Die Gründung des Aachener Geschichtsvereins im Jahr 1879 führte zu einer Fülle an Publikationen, die durch die Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins (ZAGV) seitdem jährlich veröffentlicht werden (KRAUS 2011).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde von POLL (1960) erstmals mit der „Geschichte Aachens in Daten“ ein registerartiges Nachschlagewerk bzw. eine Chronologie herausgegeben, die bis zum Jahr 2000 ergänzt wurde.

Im Jahr 2011 erschien dann der erste Band „Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart“. Herausgegeben von der Stadt Aachen sowie dem Aachener Geschichtsverein, verfolgt das auf sieben Bände ausgelegte Werk erstmals einen fächerübergreifenden Ansatz, und lässt neben den historischen auch archäologische und naturräumliche Aspekte mit einfließen (KRAUS 2011). Bisher (Stand 2019) sind fünf Bände erschienen.

Die Archäologie fand erst spät in der Literatur Berücksichtigung. Eine erste wissenschaftliche Zusammenfassung vergangener archäologischer Maßnahmen bietet CÜPPERS ET AL. (1982) mit „AQUAE GRANNI“. Für die vorliegende Arbeit besonders wertvoll war die Arbeit von KELLER (2004), in der eine umfassende Zusammenstellung und Aufarbeitung sämtlicher archäologischer Maßnahmen seit dem Jahr 1823 vorgenommen wurde. Seit dem Jahr 2006 verfügt die Stadt Aachen mit Andreas Schaub über einen hauptberuflichen Stadtarchäologen. Dies führte in Folge zu einer Vielzahl neuer Erkenntnisse, vor allem über die Römische Siedlungsphase sowie den Übergang zur karolingischen Besiedlung (SCHAUB 2008, SCHAUB 2011, SCHAUB 2013a).

Im Jahr 1980 wies KASIG (1980) erstmals auf den Zusammenhang zwischen den geologischen Gegebenheiten und deren Nutzung durch den Menschen hin. Von LEHMKUHL (2011) stammt eine umfassende Beschreibung des heutigen Naturraums des Aachener Stadtgebiets und seine anthropogene Nutzung.

Die Problematik der Übertragbarkeit von archäologischen und geowissenschaftlichen Einzelbefunden und -daten auf eine größere Maßstabsebene mit dem Ziel einer Landschaftsrekonstruktion hat SCHLUMMER ET AL. (2014) beschrieben. Angeboten werden hier Ansätze mit denen, trotz der ungleichen Verfügbarkeit von Daten für verschiedene Zeitscheiben, auf einer interdisziplinären Ebene Modelle entwickelt werden können, die durch die Kombination unterschiedlicher Datenquellen valide Ergebnisse erzielen.

Eine Visualisierung der archäologischen Schichten Aachens wurde erstmals von KELLER (2004) für den Bereich um Dom und Rathaus vorgenommen. Hier wurden bereits archäologische Grabungsdaten mit geologischen Bohrdaten

kombiniert, da erkannt wurde, dass die archäologischen Quellen alleine nicht ausreichen, um eine Karte der Schichtmächtigkeit zu erstellen. Dieser Arbeit vorausgegangen sind ähnliche Untersuchungen in der Stadt Köln. Da Köln eine ähnlich lange Geschichte wie Aachen aufweist und entsprechend mächtige Siedlungsschichten zu erwarten waren, wurde von BRUNOTTE ET AL. (1994) ein erstes Paläorelief der Stadt in relativ grober Auflösung erstellt. Darauf aufbauend wurde von MERTENS (2010) das prärömische Relief der Altstadt von Köln in deutlich höherer Auflösung und ebenfalls unter Verwendung archäologischer und geologischer Daten erstellt. Eine rein ingenieur-geologische Fragestellung verfolgte WESOLOWSKI (2000) und erstellte ausschließlich mit geologischen Daten ein Baurelief der Stadt Köln. Nur mit archäologischen Daten wurde von CARVER (1987) die Paläooberfläche verschiedener französischer Städte rekonstruiert.

Gemeinsam ist diesen zum Teil noch rudimentären Arbeiten zur Reliefrekonstruktion, dass sie zum einen keine Validierung bzw. Diskussion über die Genauigkeit der Modellierungen oder der zugrundeliegenden Quellen beinhalteten. Zum anderen handelte es sich nicht um primär GIS-gestützte Untersuchungen, so dass keine weitergehende Analyse der erstellten Oberflächen oder Rekonstruktionen vorgenommen werden konnte.

Das wissenschaftliche Interesse an diesen GIS-gestützten Interpolationen von archäologischen und/oder geologischen Daten zu Geländemodellen bzw. Modellen der anthropogenen Schichtmächtigkeit nimmt seit einigen Jahren drastisch zu. Dies zeigt sich in einer wachsenden Anzahl nationaler und internationaler Publikationen zum Thema.

SCHULDENREIN & AIUVALASIT (2011) konnten eine komplexe, neuzeitliche Schichtung für Manhattan/New York rekonstruieren. MOZZI ET AL. (2018) konnte für die italienische Stadt Padua nicht nur die Paläotopographie erstellen, sondern durch ein geeignetes Interpolationsverfahren auch die Oberflächen verschiedener Eisen- und römerzeitlichen Siedlungsperioden separieren und darstellen. Durch die Verwendung eines GIS konnte hierbei auch der Volumenzuwachs der einzelnen Schichtpakete berechnet werden. Darüber

hinaus wurden verschiedene Interpolationsmethoden auf ihre Modellierungsgenauigkeit hin getestet. Für die Stadt Leipzig wurde von GRIMM (2018), ebenfalls unter Verwendung archäologischer und geologischer Daten sowie einem Vergleich und einer Evaluierung der Interpolationsmethoden, ein Paläo-DGM erstellt. Luberti (2018) und Luberti et. al. (2019) haben für die Rekonstruktion der anthropogenen Schichtmächtigkeit der Stadt Rom nicht nur archäologische und geologische Bohrdaten interpoliert, sondern haben diese Ergebnisse ergänzt und mit Oberflächen verglichen, die aus digitalisierten historischen topographischen Karten gewonnen werden konnten. Die Möglichkeiten aus historischen Karten Geländemodelle zu gewinnen und deren Genauigkeit abzuschätzen wurde von JAMES ET AL. (2012) diskutiert.

3 Untersuchungsgebiet

Die Stadt Aachen liegt im äußersten Westen Deutschlands an der Grenze zu den Niederlanden und Belgien. Nach einer kommunalen Neugliederung im Jahr 1972 umfasst das heutige Stadtgebiet eine Fläche von 160,8 km² bei einer Einwohnerzahl von ca. 255.000 (Stand 2016). Etwa 63,7 km² (ca. 40%) der Gesamtfläche sind durch Siedlungs- und Verkehrsflächen versiegelt (STADT AACHEN 2016).

Der höchste Punkt des Stadtgebiets liegt mit ca. 400 m ü. NN im Südosten bei Schmithof. Das Gelände fällt dann in Nordwestliche Richtung auf ca. 130 m ü. NN bei Horbach ab. Von Norden nach Süden umfasst das Stadtgebiet eine Horizontaldistanz von ca. 21 km und eine West-Ost Distanz von ca. 16 km.

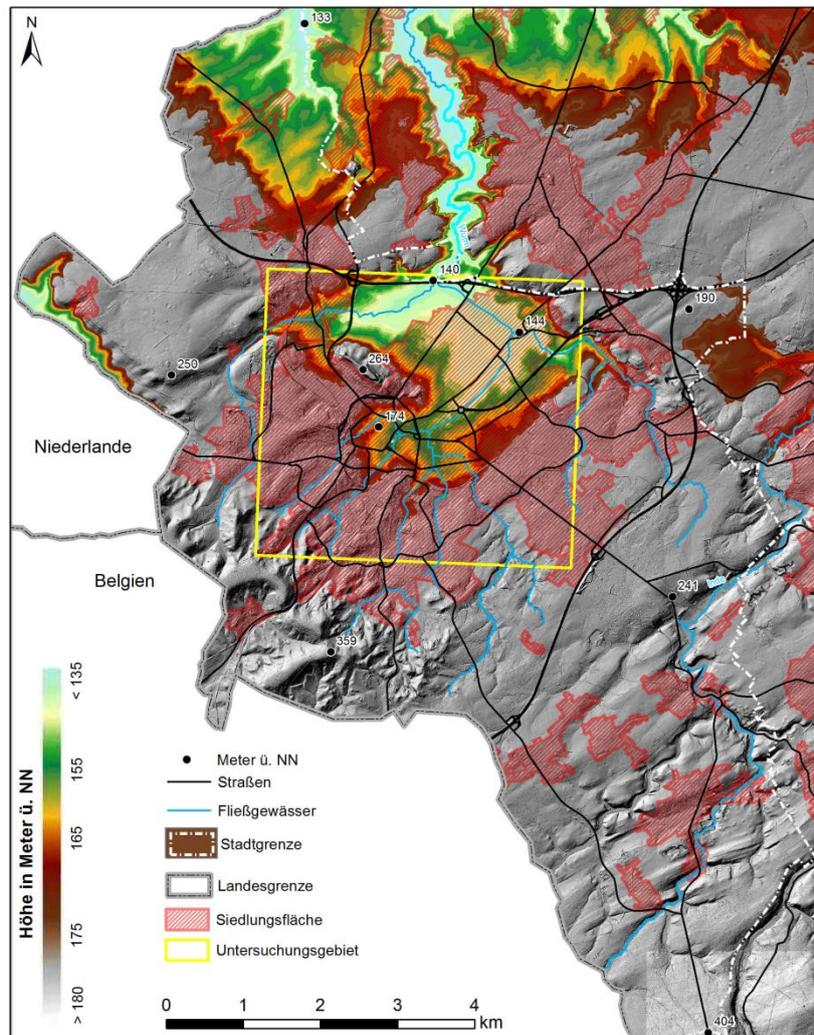


Abbildung 1: Topographie des Stadtgebiets Aachen mit dem Untersuchungsgebiet (gelbe Markierung). Im Zentrum liegt der nach Nordosten und Osten offene innere Kessel.

Der Kernbereich des Untersuchungsgebiets liegt im sogenannten „Aachener Kessel“ (s. Abb.1). Dieser ist vor allem in einem digitalen Höhenmodell (DGM) deutlich als fast geschlossene geomorphologische Hohlform zu erkennen. Begrenzt wird er durch markante Geländekanten, die nur durch den Ausfluss der Wurm als einzige Entwässerung des Kessels im Norden unterbrochen werden.

Innerhalb des Kessels steht mit einer Höhe von ca. 264 m ü. NN der Lousberg. Dieser als Erosionsrest zurückgebliebene Zeugenberg trennt vom Südrand des Aachener Kessels einen ca. 3,0 km² großen Bereich ab. Dieser nur nach Nordosten offene, innere „Kessel im Kessel“ ist für die vorliegende Arbeit von

Besonderem Interesse, da er siedlungsgeographisch die Keimzelle des heutigen Aachens bildet.

Da die rezente, aber vor allem auch die ehemalige Morphologie des Untersuchungsraumes vom anstehenden Gestein abhängt, wird zunächst auf die geologischen Grundlagen des Gebiets eingegangen. Darauf folgt eine für die Reliefentwicklung des Untersuchungsgebiets wichtige Beschreibung und Gliederung der topographischen, geomorphologischen und naturräumlichen Elemente.

3.1 Geologie, Tektonik und Thermalquellen

Geologie und Tektonik

Geologisch liegt das Stadtgebiet im Übergangsbereich zwischen paläozoischen Gesteinen der Eifel im Süden und Känozoischen Sedimenten der Niederrheinischen Bucht im Norden (s. Abb. 2). Die Hochfläche des Hohen Venns ist der nördliche Ausläufer des linksrheinischen Schiefergebirges und kann damit der deutschen Mittelgebirgsschwelle zugeordnet werden. Insbesondere der Stavelot-Venn-Sattel und das Aachener Revier sind die beiden Großstrukturen des Rheinischen Schiefergebirges, die den Untergrund des Stadtgebiets bilden (KASIG 2000; KASIG 2011; KNAPP 1992). Die Niederrheinische Bucht ist ein durch Bruchstörungen gegliedertes Senkungsgebiet, dessen Senkungsrate in südliche Richtung abnimmt. Durch die Lage Aachens zwischen diesen beiden geologischen Großräumen erklärt sich zum einen der kontinuierliche Abfall des Geländes um ca. 270 Höhenmeter von Süden nach Norden. Zum anderen weist das Gebiet hierdurch eine große, ca. 600 Millionen Jahre umfassende, geologische Vielfalt auf, die von Gesteinen des Kambriums bis zu quartären Sedimenten reicht. Analog zu der abnehmenden Höhe nimmt das Alter der Gesteine tendenziell von Süden nach Norden ab (RICHTER 1985).

Die ältesten Gesteine im Aachener Stadtgebiet sind altpaläozoische quarzitische Sandsteine und Tonschiefer im Süden, die noch dem Stavelot-Venn-Sattel zuzuordnen sind (WALTER 2010). Die darauffolgende kaledonische Gebirgsbildung ist im Raum Aachen kaum nachweisbar. Auch die Erosionsprodukte des kaledonischen Gebirges aus dem Unterdevon, die den Old-Red-Kontinent bildeten und in weiten Teilen der Eifel zu finden sind, stehen im Aachener Raum nicht an (KNAPP 1992). Während des Mittel- und Oberdevons war das Gebiet von einem tropischen Schelfmeer bedeckt. Riffbildner dieses Flachmeeres waren Korallen und Stromatoporen, aus denen Kalksteine entstanden, die im Bereich von Kornelimünster zu finden sind. Im Oberdevon zog sich das Flachmeer langsam nach Norden zurück, wobei es zu einer starken Schüttung klastischen Materials kam. Dieses bildete den Condroz-Sandstein, der am Kaiserplatz als Adalbertfelsen aufgeschlossen ist und dort eine markante Geländeerhebung darstellt (KASIG 2011; RICHTER 1985). Durch fortschreitende Regression entstand während des Unterkarbons auf dem heutigen Stadtgebiet ein vom offenen Meer abgeschlossenes Evaporitbecken. Unter diesen Bedingungen bildeten sich Karbonatgesteine insbesondere die Dolomite und Kalksteine des Kohlenkalkes, die vor allem im Bereich um Kornelimünster sowie Burtscheid aufgeschlossen sind.

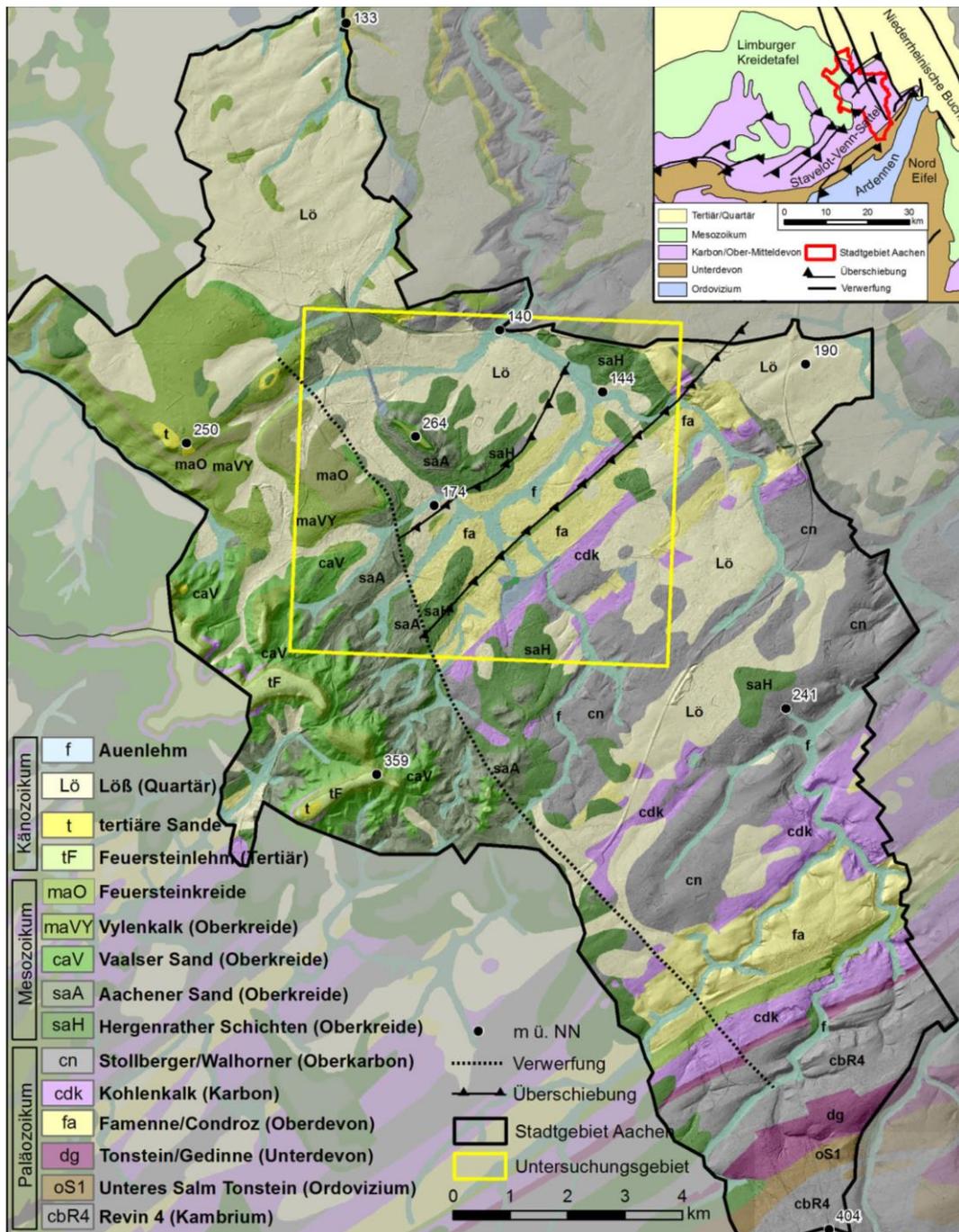


Abbildung 2: Geologischer Aufbau des Aachener Stadtgebiets (Quelle :eigene Darstellung auf Grundlage von NILSON 2006).

Im Laufe des Karbons bedeckte in flachen Schwemmebenen ein Torfmoor die Region. Dessen organische Pflanzensubstanz wandelte sich durch Inkohlungsprozesse zu Steinkohle. Daher finden sich zwischen oberkarbonischen Sand- und Tonsteinen, vor allem im Bereich nördlich des Lousbergs Kohleflöze. Gegen Ende des Oberkarbons kam es zur Variszischen Gebirgsbildung. Die Faltung der Gesteine erfolgte im gesamten Rheinischen

Schiefergebirge und auch im Aachener Raum in von Südwesten nach Nordosten verlaufender Richtung. Im Verlauf der Variszischen Orogenese kam es auch zu einer Reihe Auf- und Überschiebungen der Paläozoischen Gesteine. Von besonderer Bedeutung für die Entwicklung Aachens sind die Aachener- sowie die Burtscheider Überschiebung (KNAPP 1992; MEYER 2013). Die Faltung und Überschiebung devonischen und karbonischen Kalksteins führte dazu, dass diese in etwa parallel verlaufenden, SW-NO gerichteten Zügen zu Tage treten. Diese Kalksteinbänke sind Träger von 50-55° C heißen Thermalwässern die im Innenstadtbereich in zwei Quellzügen austreten (RÜDE 2011).

Während und nach der Variszischen Gebirgsbildung war das gesamte Aachener Gebiet der Erosion ausgesetzt. Die Erosionsprodukte lagerten sich während des Perms ab, sind aber im Stadtgebiet nicht mehr zu finden. Auch die Trias und der Jura sind im Raum Aachen durch eine Schichtflücke gekennzeichnet (KNAPP 1992; RICHTER 1985). Daher liegt auf den karbonischen Gesteinen direkt eine Schichtenfolge aus der Kreidezeit. Im Laufe der Oberkreide kam es zu einem erneuten Meeresvorstoß aus nördlicher Richtung, so dass zunächst limnisch-lagunäre Sedimente abgelagert wurden. Durch fortschreitende Transgression kam es dann zu einer Ablagerung mariner Sedimente. Die in dieser Zeit gebildete Schichtenfolge bildet die Grundlage für die Topographie des gesamten inneren Aachener Kessels der den historischen Stadtbereich umfasst. Die Basis der Kreideformation bildet der wasserstauende Hergenrather Ton, gefolgt von den mittel- und feinsandigen Aachener Schichten. Darüber liegt die feinsandige Vaalser Schicht. Durch die Transgression, und den nun tropisch-subtropischen klimatischen Bedingungen, wurde verstärkte Karbonatbildung und damit die Ablagerung von Kalk- und Mergelstein ermöglicht. Dieser zeigt sich im Stadtgebiet zum einen durch den heute größtenteils entkalkten Vylener Kalk im Aachener Wald. Zum anderen liegt über dem Vylener Kalk die Orsbacher Feuersteinkreide; ein Kalkstein mit Lagen von schwarzen oder grauen Feuersteinen (KASIG 2011; MEYER 2013).

Die Kreide-Schichtenfolge bildet die geologische Grundlage, auf der sich dann durch tertiäre und quartäre Prozesse die Morphologie des Aachener Kessels bilden konnte.

Zu Beginn des Känozoikums kam es dann zu einem Absinken der Niederrheinischen Bucht bei gleichzeitiger Hebung des Ardennen-Eifel-Gebiets (MEYER 2013). Da das Aachener Gebiet im Übergangsbereich dieser Bewegungen lag, kam es im Süden zu Erosion und zu einer Eintiefung von Tälern, während im nördlichen Bereich Sedimentationsprozesse vorherrschten. In dieser Phase bildete sich auch Feuerstein-Eluvium und bedingt durch die tropisch-subtropischen Bedingungen kam es zu Verkarstung und zu Dolinenbildung. Während des Quartärs kam es zu einem Anstieg endogener und exogener Dynamik, welche zu einer Massenverlagerung und damit zu einer Umgestaltung der Oberfläche im Untersuchungsgebiet führte (RICHTER 1985). Neben der im Quartär besonders starken Hebungsrates der Eifel, führten vor allem die im Pleistozän beginnenden Wechsel zwischen Kaltzeiten und wärmeren Perioden zu entsprechenden Verwitterungs- und Verlagerungsprozessen. So bildeten sich Frostschuttdecken und -böden und über Tonsteinen Verwitterungslehm (s. Abb. 3). Darüber hinaus führten Solifluktionenprozesse beispielsweise an den Nordhängen des Aachener Waldes zur Ausbildung von Hanglehm oder -schutt (KASIG 2011; LEHMKUHL 2011; RICHTER 1985).

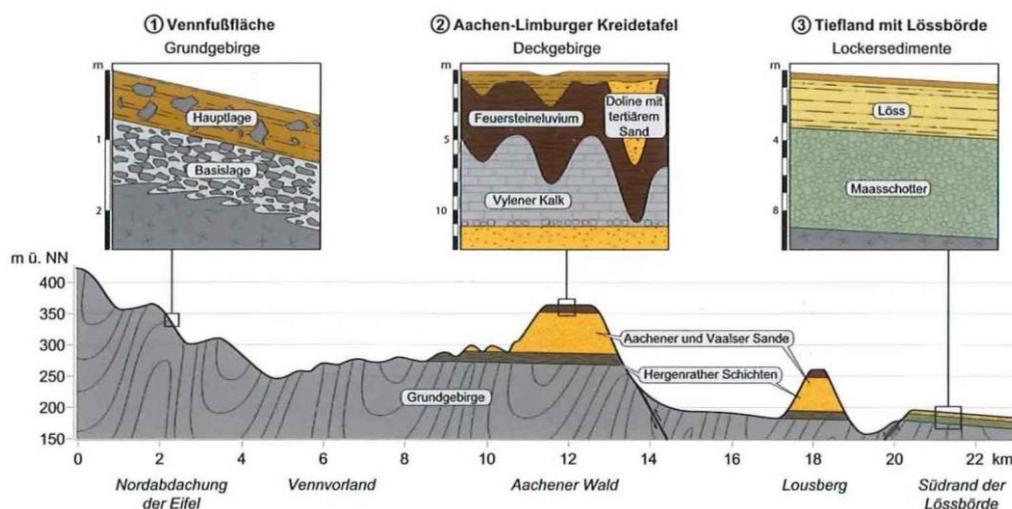


Abbildung 3: Naturräumliche Gliederung des Stadtgebiets (Quelle: LEHMKUHL 2011).

Ein weiterer typischer Prozess der Kaltzeiten ist die Entstehung von Lößablagerungen. Dieser Flugstaub wurde aus den vegetationsarmen Flächen der eiszeitlichen Flusstäler und des Gletschervorfelds sowie der trockengefallenen Schelfbereiche der Nordsee ausgeblasen und am Mittelgebirgsrand sowie in den Börden abgelagert. Im Aachener Stadtgebiet finden sich vor allem nördlich des Lousbergs größere zusammenhängende Lößbereiche, die dann in die fruchtbare Lößbörde übergehen (KNAPP 1992; LEHMKUHL 2011). Im Aachener Innenstadtbereich findet sich Löss in den Bachtälern und Niederungen. Hier wurde er durch die zeitlich parallel zur Anwehung stattfindenden fluvialen Erosionsprozesse in Form von Schwemmlöß abgelagert. Durch Entkalkung wurden dann die obersten Meter in Lößlehm umgewandelt. Auch im Bereich des Markthügels finden sich teils mehrere Meter mächtige Schichten Löß (KNAPP 1992; RICHTER 1985).

Im Holozän kam es dann noch zur Bildung von Auenlehm. Danach enden im Wesentlichen die landschaftsbildenden endogenen und exogenen Prozesse. An ihre Stelle tritt nun zunehmend der Mensch als Landschaftsgestalter (RICHTER 1985).

Thermalquellen

Die Stadt Aachen verdankt ihre Entstehung zu einem großen Teil dem im Aachener Kessel an mehreren Stellen zutage tretenden Thermalwasser, d.h. Grundwässer mit Temperaturen oberhalb von 20 °C. Anders als die meisten Stadtgründungen ähnlichen Alters im Rheinland liegt Aachen nicht an einem größeren Fließgewässer, geschweige denn am Meer. Da das Vorhandensein von Wasser aber für größere menschliche Siedlungsaktivität zwingend erforderlich ist, kommt den Thermalquellen zusammen mit den kleineren Bächen im Aachener Stadtgebiet eine besondere Bedeutung zu.

Im Untersuchungsgebiet finden sich heute insgesamt 14 Thermalquellen, die sich auf zwei etwa parallel verlaufenden Quellgruppen aufteilen (s. Abb. 4).

Eine weitere Quelle wurde in jüngerer Vergangenheit versiegelt (POMMERENING 1992).

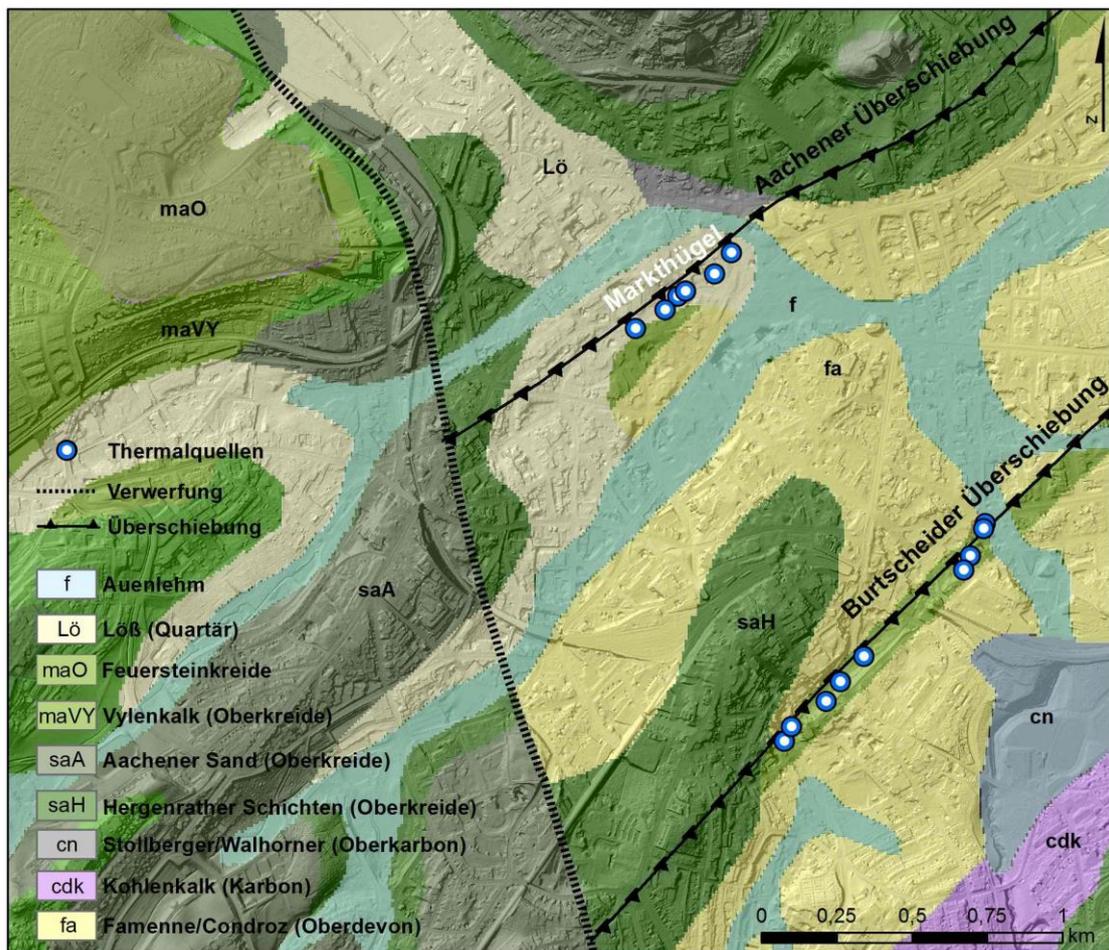


Abbildung 4: Lage der beiden Quellzüge vor dem Hintergrund der Geologie im Aachener Stadtgebiet (Quelle: eigene Darstellung nach NILSON 2006).

Alle Austrittsstellen der Quellen liegen innerhalb SW-NO streichender devonischer Kalksteinzüge. Gleichzeitig verlaufen die Quellzüge mit nur wenig Abstand parallel zu den beiden ebenfalls in SW-NO verlaufenden Überschiebungen. Die nördlicher verlaufende Aachener Überschiebung gehört zu den bedeutendsten tektonischen Elementen im Übergangsbereich zwischen dem südlich gelegenen variszischen Gebirge und dem nördlichen Vorland. Die Burtscheider Überschiebung verläuft im Abstand von etwa 1200 Meter südlich der Aachener Überschiebung und zweigt in der Tiefe von dieser ab (BREDDIN 1960; POMMERENING 1992).

Da es sich beim Aachener Thermalwasser um relativ junges, meteorisches, aus dem Niederschlag entstandenes Wasser handelt, muss es ein großes

Wiederergänzungsgebiet, sowie eine Verbindung zwischen Thermalquellen und dem Wasserkreislauf geben (RÜDE 2011). Nach POMMERENING (1992) ist das Haupteinzugsgebiet der Wässer für die Aachener Quellen südlich sowie südwestlich im Bereich des Aachener Waldes und im nördlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges an der Venn-Fußfläche zu finden. Aufgrund der dort anstehenden, relativ wasserdurchlässigen devonischen und karbonischen Kalksteine und Dolomite kommt es zur großflächigen Versickerung der Niederschläge. Diese sinken bis zu einer Tiefe von ca. 3.000 Meter ab und treten aufgrund eines hydraulischen Gradienten, der sich aus einem um etwa 100 Meter divergierenden Grundwasserspiegel ergibt, an den beiden Überschiebungen im Aachener Stadtgebiet wieder zutage (RÜDE 2011; POMMERENING 1992, RIBBERT 1992). Beim Durchlaufen dieses Konvektionssystems werden die Wässer aufgeheizt und entspringen der Quelle mit etwa 50 °C. Damit gehören die Aachener Thermalquellen zu den heißesten Quellen Europas (BREDDIN ET AL. 1963).

Der Aachener Quellenzug am Südrand des Markthügels umfasste ursprünglich fünf Thermalquellen. Diese wurden bereits von den römischen Siedlern gefasst und damit besser nutzbar gemacht. Seit 1991 ist die Quirinusquelle vollständig versiegelt (BREDDIN ET AL. 1963). Die anderen Quellen sind heute unterirdisch in Bauwerken gefasst und die aufsteigenden Thermalwässer werden durch Pumpen geregelt. Der Gesamtausfluss der Aachener Quellen beträgt heute ca. 1.200 m³ je Tag (RÜDE 2011). Die Existenz einer weiteren Quelle, der Domquelle, innerhalb des Aachener Quellzuges ist umstritten. Während seit längerer Zeit eine Quelle direkt unter dem Dom vermutet wird (CHRIST 1953) und in diesem Bereich fluviatile Sedimente gefunden wurden (BREDDIN ET AL. 1963) belegten jüngere Untersuchungen in diesem Bereich zwar das Vorhandensein von Thermalwasser, aber keinen Quellaustritt, geschweige denn eine Nutzung durch den Menschen (RÜDE 2011, SEIFFERT 2010).

Der Burtscheider Quellenzug ist gekennzeichnet durch zahlreichere kleinerer Quellaustritte. Insgesamt befinden sich hier 10 Quellen von denen heute noch zwei genutzt werden (POMMERENING 1992).

Die Quellen waren für die gesamte Siedlungsgeschichte des Gebiets von Bedeutung. Vor allem während der ersten großen Siedlungsphase der Römerzeit waren die heißen Quellen wahrscheinlich der Hauptstandortfaktor. Auch eine mindestens temporäre vorrömische Nutzung der Quellen durch die Kelten ist nicht auszuschließen (KELLER 2004; MICHEL 1992).

3.2 Boden und Vegetation

Aufgrund der heterogenen geologischen Voraussetzungen weisen der Aachener Wald sowie der Lousberg eine Vielzahl verschiedener Bodentypen auf. Auf der Hochfläche des Aachener Waldes führt die dort anstehende Feuersteinlehmdecke zu Staunässe. Durch diese bildeten sich hier stellenweise Pseudogleye. In Bereichen mit umgelagertem Lößlehm entwickelten sich dagegen verschiedene Braunerdetypen (GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1982). Die sich unter der Deckschicht befindlichen Vaalser und Aachener Sande sind relativ wasserdurchlässig und nährstoffarm, weshalb sich hier, an den Hangbereichen, vor allem Podsole und Podsol-Braunerden herausbilden konnten (LOIBL & LEHMKUHL 2013). Auf der Basislage der wasserundurchlässigen Hergenrather Tonschichten finden sich dagegen wieder hauptsächlich Pseudogleye und Braunerde-Pseudogleye (GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1982). Für den Lousberg ergibt sich aufgrund der identischen geologischen Genese eine ähnliche Abfolge von Bodentypen wie im Bereich des Aachener Waldes. Am Sockel des Berges über den Tonschichten entwickelten sich daher ebenfalls vor allem Pseudogleye, während sich an den Bergflanken, über den Aachener und Vaalser Sanden, vor allem Podsol-Braunerden herausbildeten. Im Gegensatz zu weiten Teilen des Aachener Waldes trägt der Lousberg als Deckschicht eine teilweise mehrere Meter mächtige Kreidekalkplatte. Auf dieser konnten sich in den höheren Lagen Rendzinen und Rendzina-Braunerden entwickeln. Auf dem wasserstauenden Feuerstein-Eluvium bildete sich vor allem Pseudogley. (WEINER 1998; GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1982).

Auf den meist sandig-lehmigen und teilweise podsolierten Böden des Aachener Waldes entwickelte sich eine potentiell-natürliche Vegetation in

Form von Buchenwaldgesellschaften und Eichenmischwäldern, auf den Sanden auch Kiefern. Durch Änderung der Landnutzung und Aufforstungen entspricht das Gebiet heute aber einer Kulturlandschaft mit einem großen Anteil an Nadelbäumen (NILSON 2006, GLÄSER 1978).

3.3 Geomorphologie

Die naturräumlichen Voraussetzungen und Gegebenheiten, die die ersten Siedler im Aachener Raum vorfanden, werden bedingt durch die zugrundeliegende Geologie und der daraus resultierenden Geomorphologie. Während diese allgemeinen geologischen Strukturen und Prozesse in Kapitel 3.1 erläutert wurden, sollen im Folgenden die geomorphologischen und hier speziell die spezifischen topographischen und landschaftlichen Elemente, die für das Untersuchungsgebiet des Aachener Kessels prägend sind, näher betrachtet werden, da diese einen wesentlichen Einfluss auf die Siedlungstätigkeiten des Menschen hatten. Die Reihenfolge der folgenden Erläuterungen entspricht der topographischen Abfolge, beginnend mit dem höhergelegenen Aachener Wald bis zu den Niederungen im Auenbereich des Kessels.

3.3.1 Aachener Wald und Lousberg

Der Aachener Wald begrenzt das Untersuchungsgebiet im Süden und Südwesten. Die Höhenzüge, auf denen sich der Wald im Wesentlichen befindet, bilden eine Schichtstufe aus den noch nicht abgetragenen kreidezeitlichen Sedimenten. Die Basis bilden die Hergenrather Tonschichten gefolgt von den marinen, Aachener und Vaalser Sanden. Bedeckt wird die Abfolge von einer Feuersteinlehmdecke, die die weicheren Sande im Liegenden vor der Erosion schützt (LEHMKUHL 2011). Diese Decke bildet eine Hochfläche, die auf bis zu 370 m ü. NN liegt und sich damit ca. 220 m über dem Boden des Aachener Kessels erhebt. Bedingt durch die Wasserundurchlässigkeit der Hergenrather Schicht, fungiert diese als

Wasserstauer und ist für den Austritt der Quellen verantwortlich, die dann als Bäche durch das Untersuchungsgebiet fließen. Diese in nördliche Richtung abfließenden Gewässer sind nach RIBBERT (1992) wesentlich dafür verantwortlich, dass durch rückschreitende Erosion und Sedimentabtransport durch die Bäche der Aachener Kessel entstanden ist. Innerhalb des Kessels ist einzig der Lousberg von den Abtragungsprozessen weitgehend unbeeinflusst geblieben (WEINER 1998). Er stellt damit einen Zeugenberg dar, der den gleichen geologischen Aufbau wie der Aachener Wald aufweist. Den höchsten Punkt des Aachener Waldes bildet mit 370 m ü. NN der Klausberg, während der Lousberg eine Höhe von 264 m ü. NN aufweist. Letzterer überragt den Aachener Kessel damit um etwa 100 m und teilt zusammen mit den Höhenzügen des Waldes im Süden den Aachener Kessel in einen inneren und äußeren Bereich auf.

Sowohl im Bereich des Aachener Waldes als auch auf dem Lousberg finden sich eine Reihe verschiedener geomorphologischer Formen (s. Abb. 5). Diese sind vor allem auf dem DGM als kleinräumige Hohl- oder Vollformen erkennbar. Hierbei handelt es sich um Formen sowohl natürlicher als auch anthropogener Genese, die sich in fünf Gruppen einteilen lassen:

- 1) Dolinen auf verkarstungsfähigem Kalkstein
- 2) Anthropogene Abgrabungen von Sand, Mergel und Kalkstein
- 3) Relikte des Zweiten Weltkriegs (Westwallanlagen, Stellungen, Bombentrichter)
- 4) Historische Hohlwege und modernes Wegenetz
- 5) Prähistorische Hügelgräber

Da auf die anthropogenen Landschaftsformen in Kapitel 4 näher eingegangen wird, sollen im Folgenden primär die Dolinen als natürliche Hohlformen näher betrachtet werden.

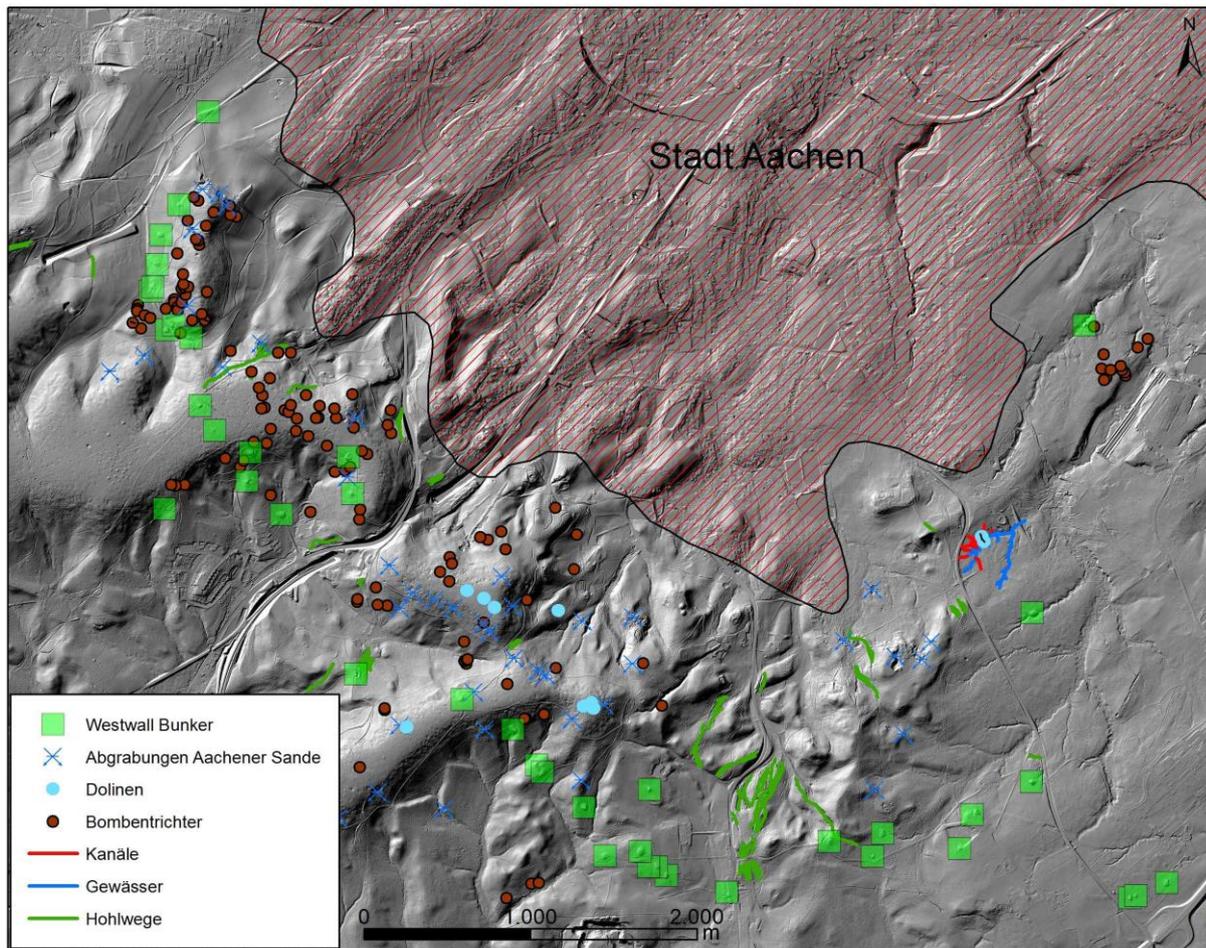


Abbildung 5: Geomorphologische Hohl- und Vollformen im Aachener Wald.

Die Dolinen sind vor allem auf den Hochflächen im Bereich der Vylener Karbonate zu finden. Aber auch in tiefergelegenen Gelände, insbesondere im Bereich des Kohlenkalks, konnten sich Dolinen bilden (KASIG 1987). Bei den Dolinen im Aachener Stadtgebiet handelt es sich um Lösungsdolinen mit einem Durchmesser von wenigen Metern bis ca. 30 m, wobei diese bis zu 10 m in die Oberfläche eingetieft sein können. Da die Dolinen oftmals zum Teil verfüllt sind, ist eine Abgrenzung zu anderen Hohlformen wie z.B. Bombentrichtern, nicht immer möglich (LOIBL & LEHMKUHL 2013). Insbesondere die Hohlformen auf der Hochfläche des Lousberges sind keine Karsterscheinungen, sondern das Ergebnis der Bergbauaktivität des Menschen, beginnend mit neolithischem Feuersteinabbau, bis zu mittelalterlicher Bausteingewinnung (BREDDIN ET AL. 1963; LIESE 1930; SCHYLE 2010). Demgegenüber steht der anthropogene Einfluss auf den Aachener Wald, der sich eher punktuell in Form lokal sehr begrenzter

Abgrabungen, wie der Aachener und Vaalser Sande, zeigt und keine großflächigen Änderungen in der Topographie zur Folge hatte.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bedeutung des Aachener Waldes und des Lousbergs für die Siedlungsentwicklung im Aachener Kessel zum einen direkt auf das Vorhandensein von Rohstoffen wie Gesteine, Holz und Wasser zurückzuführen ist. Zum anderen führte die Topographie und hier vor allem die erhöhte Lage des Gebiets indirekt in verschiedenen Zeiten zu einer speziellen Nutzung durch den Menschen (Hügelgräber, Anlagen des Westwalls).

3.3.2 Markthügel

Der Aachener Markthügel ist im heutigen Stadtbild als markante Geländeerhebung im Zentrum der Innenstadt erkennbar. Er verläuft von Südwesten in nordöstliche Richtung und stellt einen Ausläufer des Aachener Waldes dar. Der Markthügel wird an seiner nördlichen Seite vom Johannisbach und an seiner südlichen Flanke vom Paubach umflossen. Ähnlich dem Lousberg stellt er damit ebenfalls einen Erosionsrest dar, der durch fluviatile Prozesse nicht vollständig abgetragen wurde. Er fällt in seinem Verlauf innerhalb der Innenstadt von ca. 200 m ü. NN im Bereich der oberen Jakobstraße auf ca. 173 m ü. NN im Bereich des Marktplatzes ab. Hier überragt er die ihn umgebenden Auenbereiche um ca. 10 bis 15 Meter. Der Verlauf des Markthügels entspricht dem Streichen der gefalteten geologischen Schichten und damit dem Verlauf der Überschiebungen. Eine dieser Überschiebungen, die Aachener Überschiebung, verläuft exakt parallel des südlichen Rands des Markthügels. Hier wurde oberdevonischer Schiefer aus südöstlicher Richtung über karbonischen Tonstein geschoben (BREDDIN ET AL. 1963). Diese Überschiebung ist für die Entwicklung Aachens insofern bedeutsam als sie sowohl verantwortlich für das Auftreten der heißen Quellen ist als auch für Erdbebenereignisse in historischer Zeit (FERNANDEZ-STEGER ET AL. 2011).

Mit seiner Lage ragt der Markthügel als Sporn in den inneren Bereich des Aachener Kessels und bildete damit eine Gunstlage für die ersten Siedler. Im Bereich des Hügels war die Nähe zu den beiden Fließgewässern Johannisbach und Paubach, sowie zu den heißen Quellen gegeben. Gleichzeitig war die erhöhte Lage aber auch hochwassergeschützt und den sumpfigen Niederungen der Auenbereiche als Baugrund vorzuziehen. Das Gebiet auf und um den Markthügel kann daher als die Keimzelle der Stadt Aachen angesehen werden.

3.3.3 Gewässer und Auenbereiche

Das Untersuchungsgebiet wird von mehreren kleinen Bächen durchflossen. Da es in der Region keine größeren Flüsse oder Seen gibt, kommt diesen kleineren Fließgewässern neben den Thermalquellen eine besondere Bedeutung bezüglich menschlicher Siedlungstätigkeiten zu. Die Bäche waren nicht nur eine wichtige Ressource für den Menschen, sondern sind auch mitverantwortlich für die Entstehung der heutigen topographischen Bedingungen des Aachener Kessels.

Insgesamt fließen sechs Bäche durch das Untersuchungsgebiet und entwässern den Aachener Kessel über die Wurm nach Norden. Zwei davon, der Johannisbach und der Paubach, durchfließen den historischen Kernstadtbereich. Die Bäche entspringen alle im Süden und Südosten im Bereich des Aachener Waldes.

Durch tektonischen Absenkung weiter nördlich, bei gleichzeitiger Hebung des Aachener Waldes und des südlichen Kesselbereichs konnten sich die von Süden kommenden Fließgewässer in die relativ weichen, sandigen Sedimente einschneiden. Zusammen mit den Hebungs- bzw. Senkungsprozessen führte die andauernde fluviale Erosion im Laufe des Quartärs zur Ausräumung des Aachener Kessels. Einige von verwitterungsbeständigen Kalksteinen bedeckte Bereiche (Lousberg, Markthügel) widerstanden der Erosion und charakterisieren heute, als mehr oder weniger ausgeprägte

Geländeerhebungen, das Untersuchungsgebiet (BREDDIN ET AL. 1963; WALTER 2010).

Die Bäche haben in den tiefergelegenen Regionen des Aachener Kessels zur Akkumulation von Auensedimenten geführt. Diese bestehen aus geringmächtigen Ablagerungen von lehmigem Sand, Ton und Flussskies und wurden während periodischer Hochflutereignisse sedimentiert. In weiten Bereichen werden diese Sedimente von jüngerem, spätholozänem Auenlehm überlagert, der stark humos und teilweise mit Pflanzenfragmenten und Torf durchsetzt ist (RICHTER 1985).

Unter den Auensedimenten befindet sich in weiten Teilen ein periodisch mit Grundwasser gefüllter Feuersteinkies, wodurch die Niederungen des Aachener Kessels einen hohen Grundwasserspiegel aufweisen. Die Auenbereiche waren daher ursprünglich durch große Vernässungszonen und semiterrestrische Bedingungen gekennzeichnet (BREDDIN ET AL. 1963).

Zusammen mit der Suszeptibilität für periodische Hochflutereignisse waren die Auenbereiche zunächst weder als Siedlungsfläche noch für die landwirtschaftliche Nutzung geeignet. Daher wurde spätestens seit dem Mittelalter damit begonnen, die Bäche teilweise zu kanalisieren. Vor allem in den Lauf des Johannisbaches und des Paubaches wurde vermutlich bereits in römischer Zeit eingegriffen (COELS V. D. BRÜGGHEN 1958). Letztendlich führten die Eingriffe zur Drainage und damit Trockenlegung der Auenbereiche, wodurch diese als Siedlungs-, Grünland- oder Gartenbaufläche genutzt werden konnten.

4 Archäologischer und historischer Hintergrund

Trotz des Fehlens eines größeren Fließgewässers stellte das Gebiet der heutigen Stadt Aachen eine Gunstlage für menschliche Besiedlung dar. Die frühesten Zeugnisse menschlicher Anwesenheit im Raum Aachen gehen auf die mittlere Steinzeit zurück (SCHYLE & PAVLOVIC 2011). Die erste nachweisbare Siedlung lässt sich aber erst in das erste Jahrhundert n. Chr. mit der Gründung einer römischen Stadt datieren (SCHERBERICH, 2011; SCHAUB, 2011). Seitdem war die Region wohl konstant besiedelt und somit unter größerem menschlichem Einfluss. Da aus dieser frühen Besiedlungsphase historische Belege vollständig fehlen, kommt den archäologischen Quellen besondere Bedeutung zu (POLL 1960; KELLER 2004). Insbesondere bezüglich der Frage, inwieweit die menschliche Siedlungstätigkeit Einfluss auf die Topographie genommen hat, sind historische Überlieferungen sowie archäologische Funde und Befunde von großer Bedeutung. Da vorhandene archäologische Befunde ab der Neuzeit die Entwicklungen dieser Epoche nur schwer beschreiben können, müssen hier vor allem historische Quellen für eine Bewertung herangezogen werden (KELLER 2004).

Im Folgenden soll daher die historische Entwicklung Aachens von den prähistorischen Anfängen bis in die Moderne dargestellt werden. Hierbei wird vor allem der potentielle Einfluss des Menschen auf die Topographie in den verschiedenen Zeitscheiben berücksichtigt.

4.1 Vorgeschichtliche Besiedlung

Insgesamt sind nur wenige Fundstellen im Aachener Kessel bekannt, die auf eine prähistorische Besiedlung hinweisen (KELLER 2004). Die frühesten Spuren menschlichen Wirkens stammen aus der mittleren Altsteinzeit. Hierbei handelt es sich um bearbeiteten Feuerstein, Faustkeile und Pfeilspitzen (MAYER 1933). Diese nur spärlichen Funde können durch deutlich häufigere Funde von bearbeitetem „Lousberg-Feuerstein“ in der weiteren Umgebung von Aachen ergänzt werden (APP ET AL. 1995; HEINEN ET AL. 2010). Diese Funde sind ein indirekter Hinweis auf die Anwesenheit von Menschen im Aachen Kessel während des

Paläolithikums. Vor allem der Lousberg mit seinem Feuersteinvorkommen dürfte ein Anziehungspunkt für die altsteinzeitlichen Menschen gewesen sein. Ein wesentlicher Einfluss auf die Topographie im Aachener Kessel durch die paläolithischen Jäger und Sammler ist nicht nachweisbar.

Für das Neolithikum liegt eine deutlich größere Anzahl von Funden vor, die auf dauerhafte und intensivere menschliche Aktivitäten schließen lassen (KELLER 2004). Spätestens ab dieser Epoche wurde der Lousberg dann als Feuersteinquelle intensiver genutzt. Dies war den neolithischen Siedlern nur aufgrund der günstigen Abbaubedingungen des Lousberg-Feuersteins möglich. Die Feuersteinbänke auf dem Lousberg lagen an dessen Hängen frei, so dass sie für die prähistorischen Menschen leicht zugänglich waren. Der im Neolithikum einsetzende bergmännische Abbau des Rohstoffes erfolgte im Tagebau, und hier speziell dem „Pingenbau“. Hierbei wurden Übermannstiefe, grubenartige Eintiefungen seitlich in den anstehenden Kalkstein mit seiner Feuersteineinlage angelegt. Der Abraum wurde dann hangabwärts zu kleinen Halden aufgeschüttet (WEINER 1998).

Der intensive Abbau auf dem Lousberg fand ca. zwischen 3.000 und 2.500 Jahren v. Chr. statt. In diesen 500 Jahren wurde das Feuersteinvorkommen fast vollständig ausgebeutet (WEINER 1984; WEINER 1990). Dies führte zu einer starken Veränderung der Morphologie des Lousberges. Zum einen wurde die Hochfläche des Berges um mehrere Meter abgetragen. Zum anderen zeigt die zurückgebliebene Topographie deutliche Spuren des prähistorischen Bergbaus. Insbesondere die Pingen auf der Hochfläche des Lousbergs sind als Hohlformen heute noch zu erkennen. Damit wird deutlich, dass der Mensch bereits im Neolithikum nicht nur einen indirekten Einfluss wie die Sedimentation von Kolluvien und Auenlehmen (PROTZE 2014; SCHMIDT-WYGASCH 2011) auf die Landschaft hatte, sondern direkt das Relief verändern konnte.

Aufgrund des intensiven Feuersteinbergbaus am Lousberg muss auch von Siedlungen in dessen Nähe ausgegangen werden. Archäologische Hinweise auf potentielle Siedlungsplätze finden sich vereinzelt in Form von Gruben, Gräbern und Einzelfunden im Bereich des Markthügels und der Thermalquellen

(KELLER 2004; SCHYLE & PAVLOVIC 2011). Aufgrund der starken, baulichen Überprägung dieses Gebiets lassen sich allerdings kaum Rückschlüsse auf die Größe der Siedlungen ziehen. Auch ein Einfluss dieser frühen Siedlungen auf die Topographie des Markthügelgebiets lässt sich nicht nachweisen.

Für den Übergang zu den Metallzeiten, ca. 2.500 v. Chr., geht die Anzahl der archäologischen Funde deutlich zurück. Hinweise auf eine bronzezeitliche Siedlung im Innenstadtbereich gibt es nicht (SCHYLE & PAVLOVIC 2011). Allerdings findet sich im Südosten des Aachener Stadtgebiets, im Bereich des Aachener Waldes, eine Vielzahl an Grabhügeln, die vermutlich in die ältere und mittlere Bronzezeit datiert werden können. Die Grabstätten befinden sich ausschließlich auf den höheren Lagen des Aachener Waldes und gehören zu einem Gräberfeld, das sich auf den Höhenzügen in Richtung Belgien und Niederlande fortsetzt (CAHEN-DELHAYE 1978). Die exponierte Lage der Gräber lässt vermuten, dass sich die Wahl ihrer Standorte nicht primär an den bestehenden Siedlungen orientierte, denn die höher gelegenen Bereiche waren keine Gunstlagen für bronzezeitliche Siedler. Vielmehr dürften die damals vermutlich waldlosen Hügel (GERLACH 2006) als topographische Landmarken gedient haben (SCHYLE & PAVLOVIC 2011). Für das Stadtgebiet Aachen sind die Grabhügel bislang der einzige Nachweis eines direkten Eingriffes der bronzezeitlichen Siedler in die Topographie der Region.

Für die Eisenzeit ab ca. 800 v. Chr. sind bislang ebenfalls kaum Funde im Stadtgebiet bekannt. Erst die Übergangszeit zur römischen Besiedlung um die Jahrtausendwende ist wieder mit einer etwas größeren Anzahl an Funden dokumentiert (SCHYLE & PAVLOVIC 2011).

4.2 Römische Besiedlung

Für die späte, vorrömische Eisenzeit finden sich im Aachener Stadtgebiet vor allem Einzelobjekte, auf Grund derer sich jedoch keine spätkeltische Siedlung im Innenstadtbereich nachweisen lässt (SCHAUB 2011b).

Erst mit der Eroberung des linksrheinischen Galliens durch die Römer im ersten Jahrhundert v. Chr. setzte eine nachweislich dauerhafte Besiedlungsphase im Aachener Raum ein, die den Grundstein für die heutige Stadt Aachen legte.

Den ersten Kontakt mit den Römern dürfte die Aachener Region mit den Soldaten Caesars während des gallischen Krieges 58 – 50 v. Chr. erlebt haben, wenn auch für diese frühe römische Phase keine direkten archäologischen Belege existieren (HAUSMANN 2001; HORN 2002; SCHAUB 2011c). Mit der vollständigen Unterwerfung und Besetzung der linksrheinischen Gebiete und der Grenzsicherungsmaßnahmen am Rhein erlangte die Aachener Region dann größere Bedeutung. Als wichtigste Voraussetzung für die römische Besiedlung dürfte das Vorhandensein der Thermalquellen anzusehen sein, da die Badekultur im Allgemeinen sowie Heilthermen im Speziellen eine wichtige Rolle im römischen Lebensstil gespielt haben (SCHERBERICH 2011). Durch die verstärkte Militärpräsenz am Niederrhein und die damit einhergehende Notwendigkeit der medizinischen Versorgung rückte der Aachener Raum mit seinen heißen Quellen am Südhang des Markthügels in den Blick der Römer. Bereits für das frühe 1. Jahrhundert n. Chr. konnte im Bereich des Hofes die Errichtung eines ersten Thermengebäudes archäologisch nachgewiesen werden (KELLER 2004; SCHAUB 2011c). Durch die Gründung der „Colonia Claudia Ara Agrippinensium“ (Köln) im Jahr 50 n. Chr. erhielt die gesamte Region einen besonderen Romanisierungsschub, der den Kreis der potentiellen Nutzer der Thermalquellen in Aachen deutlich erweitert haben dürfte (SCHERBERICH 2011).

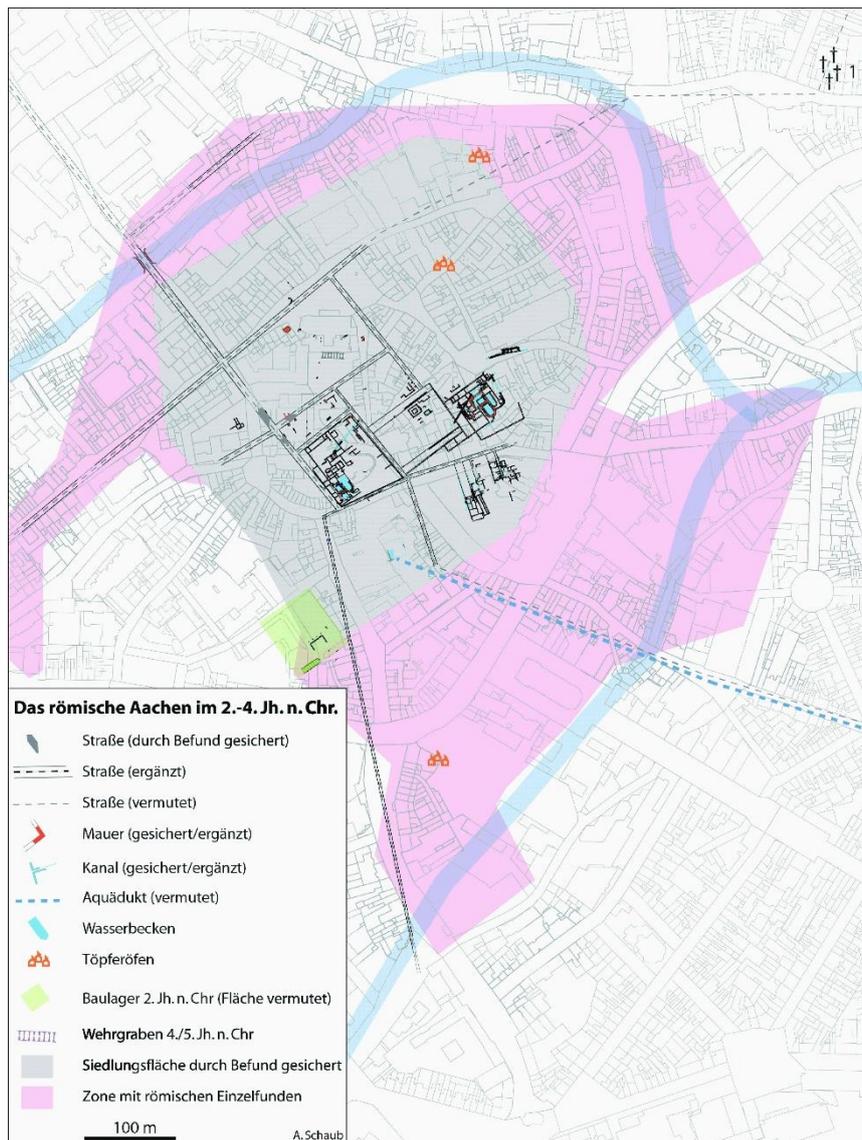


Abbildung 6: Stadtplan des römischen Aachens (Quelle: SCHAUB 2017).

Im Verlauf der mittleren Kaiserzeit während des 2. und 3. Jahrhunderts n. Chr. kam es dann im Bereich um die Thermalquellen zu weiteren Bautätigkeiten und zu einer Ausweitung der Siedlungsfläche (SCHAUB 2011c) (s. Abb. 6). Während sich im Aachener Umfeld eine hauptsächlich bäuerliche und handwerkliche Bevölkerung niederließ, siedelten sich an den Thermen auch verschiedene Gewerbetreibende an. Inschriften, die auf dem Territorium der antiken Stadt gefunden wurden und sich hauptsächlich in die mittlere Kaiserzeit datieren lassen, geben Hinweise auf das Vorhandensein von Töpfereien, Betrieben zur Buntmetallverarbeitung sowie zur Glasproduktion. Darüber hinaus dürften Militärbeamte eine weitere wichtige Bevölkerungsgruppe in Aachen dargestellt haben (NOETHLICH 2011).

Topographischer Ausgangspunkt der römischen Besiedlung war der Markthügel mit den Thermalquellen. Die weitere Siedlungsentwicklung fand dann im Bereich des höhergelegenen und damit hochwasserfreien Bereichs des Markthügels statt. Die Grenzen der römischen Kernstadt bildeten zunächst der Johannisbach und die Pau, die den Geländerücken umfließen. Zahlreiche Fundstellen jenseits dieser Wasserläufe belegen aber dass auch jenseits der Bäche zumindest vereinzelt gesiedelt wurde (SCHAUB 2011c). Insbesondere im Bereich Thermalquellen sowie der feuchten Niederungen versuchten die Römer das Gelände nach ihren Bedürfnissen zu formen. So wurden die heißen Quellen bereits frühzeitig gefasst (STRAUCH 1995), sowie Versuche unternommen das Gelände trockenzulegen, um zusätzliche Siedlungsfläche zu gewinnen (SAGE 1982). Neben der Errichtung von Gebäuden kam es auch zur Anlage verschiedener Infrastruktureinrichtungen. So wurde neben dem Bau eines Aquädukts und Wasserleitungen sowie eines Kanalsystems vor allem ein umfangreiches Straßennetz angelegt, welches die Siedlung mit dem Fernstraßennetz der römischen Provinzen in Niedergermanien verband (SCHAUB 2011c).

Inwieweit die Wasserläufe im Aachener Raum durch die Römer genutzt wurden ist nicht abschließend geklärt. Hinweise auf zur Römerzeit breitere Bachläufe (CÜPPERS 1982; NÜSSGENS 2011) erlauben die Vermutung, dass insbesondere der Johannisbach oder die Wurm für treidelnde Flachbodenschiffe geeignet gewesen sein könnte (SCHAUB 2011c).

Im Bereich des heutigenurtscheid kam es ungefähr zeitgleich zu einer römischen Besiedlung. Auch hier waren die Thermalquellen vermutlich der Hauptanziehungspunkt der Siedler (SCHAUB 2011c).

Die Spätantike im Rheinland wurde vor allem von der zunehmenden Bedrohung durch einfallende germanische Stämme geprägt. Da Aachen kein militärischer Stützpunkt war, hat es wahrscheinlich auch weniger unter den kriegerischen Auseinandersetzungen der Zeit zu leiden gehabt. Trotzdem dürfte zumindest der Badebetrieb, der das Zentrum des römischen Aachens war, bis zum 4. Jahrhundert n. Chr. rückläufig gewesen sein (v. HAEHLING 2011).

Die Verteilung der spätrömischen Funde im Aachener Stadtgebiet entspricht allerdings weitgehend dem früheren Siedlungsbild der frühen und mittleren Kaiserzeit. Daraus lässt sich ableiten, dass es bis zum 4. Jahrhundert n. Chr. wahrscheinlich noch nicht zu einem Bevölkerungsrückgang oder einer Verkleinerung der Siedlungsfläche gekommen war (SCHAUB 2011c).

Aachen blieb von den Germaneneinfällen bis zum 5. Jahrhundert n. Chr. nicht unbeeinflusst. Die zeigt ein an mehreren Stellen um den Markthügel angelegter, spätantiker Wehrgraben. Vermutlich wurde hier die Topographie genutzt, um durch die Anlage eines Befestigungswerks auf eine Bedrohungslage zu reagieren (SCHAUB 2011c; v. HAEHLING 2011).

Seit der Mitte des 5. Jahrhunderts n. Chr. kam es dann zur vollständigen Aufgabe der römischen Herrschaft im nördlichen Rheinland (HORN 2002). Für das römische Aachen ist für diese Zeit ein Bevölkerungsrückgang wahrscheinlich (v. HAEHLING 2011). Inwieweit es eine Siedlungskontinuität von der Spätantike in das frühe Mittelalter gegeben hat ist nicht abschließend geklärt. Nach der Sichtung von Altfundbeständen durch die Stadtarchäologie Aachen ist eine solche Kontinuität aber durchaus wahrscheinlich (SCHAUB 2011c).

4.3 Karolinger

Im Zuge der Auflösung römischer Hoheit über die linksrheinischen Provinzen etablierte sich die Dominanz der Franken in der Region. Zumindest für die Stadt Köln ist von einer weitgehenden Unterwerfung und Kontrolle durch fränkische Stämme auszugehen. In Aachen dürfte sich ab der Mitte des 5. Jahrhunderts n. Chr. die Bevölkerung verringert haben, wobei vermutlich ein Kern an größtenteils romanisierter Bevölkerung weiterhin das Gebiet bewohnte (v. HAEHLING 2011). Der Bevölkerungsrückgang wird durch einen deutlichen Rückgang archäologischer Funde aus der Merowingerzeit ab dem Ende des 5. Jahrhunderts n. Chr. gestützt. Die frühmittelalterliche Besiedlung fand vermutlich ausschließlich in den von den Römern gesteckten Siedlungsgrenzen

statt (SCHAUB 2011a). Mit der Ablösung der Merowinger durch die Karolinger existieren für Aachen zum einen erstmals schriftliche Überlieferungen (MÜLLER ET AL. 2013). Zum anderen erfährt die Stadt bedingt durch die Entscheidung Karls des Großen Aachen als Pfalz auszubauen, einen durch das gesamte Mittelalter andauernden Bedeutungszuwachs.

Die Epoche der Karolinger im Aachener Raum ist vor allem geprägt durch den Bau der Kaiserpfalz und des „Oktogons“ der Marienkirche, welches den Grundstein für den Aachener Dom legte. Die Standortfaktoren, die zur Wahl Aachens als Bauplatz für eine Kaiserpfalz führten, sind nicht abschließend geklärt, dürften aber einerseits an der relativ zentralen Lage der Region innerhalb des Frankenreichs liegen. Andererseits werden wohl auch hier die heißen Quellen ein wesentlicher Grund für Karl den Großen gewesen sein, sich dauerhaft in Aachen niederzulassen (MÜLLER ET AL. 2013). Auch die bereits bestehenden römischen Strukturen und Bauwerke könnten einen Einfluss auf die Wahl des Standortes gehabt haben (SCHAUB 2008).

Im Gegensatz zur karolingischen Siedlung im Stadtgebiet wurde die Pfalzanlage, bestehend aus Königshalle, Marienkirche sowie Verbindungsbauten, ohne Rücksicht auf bereits bestehende römische Bauten und Strukturen errichtet (SCHAUB 2013). Vielmehr wurde die Anlage in exakter West-Ost-Ausrichtung erbaut, während sich das römische Straßenraster der Topographie anpasste (SCHAUB 2011a). Hieraus ergibt sich eine Verdrehung der Pfalzbauten gegenüber römischen Strukturen um ca. 39 Grad, was die bis heute bestehenden dreieckigen Plätze im Aachener Innenstadtbereich zur Folge hatte. Trotzdem wurde insbesondere die Königshalle an topographisch markanter Stelle errichtet. Sie befindet sich auf dem Markthügel innerhalb der spätrömischen Befestigung (s. Kapitel 4.2). Die Marienkirche ersetzte einen spätrömischen oder Merowingerzeitlichen Kirchenbau, der wiederum über der römischen Münstertherme an gleicher Stelle errichtet wurde (LEY 2013).

Die Kenntnisse um die Ausdehnung und die Struktur der karolingischen Siedlung, die im Umfeld der Kaiserpfalz gelegen haben muss, sind, verglichen mit der vorherigen römischen Epoche, eher gering (MÜLLER 2000). Dies kann zum

einen damit begründet werden, dass die Herrschaftsperiode und damit die Zeit, die die Karolinger (zwischen 768 und 881 n. Chr.) zur Prägung des Aachener Raums hatten, relativ kurz war (CURDES 1999). Zum anderen lassen sich karolingische Bauten im Innenstadtbereich teilweise nur schwer eindeutig identifizieren, da die Karolinger einfache Wohn- und Gewerbebauten als Pfostenbauten oder Grubenhäuser oftmals in Holzbauweise errichteten. Außerdem griffen die Karolinger auf die zumindest noch in Teilen bestehenden römischen Gebäudestrukturen zurück und nutzten diese weiter, wodurch eine eindeutige fränkische Zuordnung erschwert wird. Auch weite Teile des innerörtlichen römischen Straßen- und Wegenetzes wurde von den Karolingern weitergenutzt (SCHAUB 2013).

Da es, abgesehen von der Kaiserpfalz, kaum Hinweise auf eigenständige fränkische Neubauten im Stadtzentrum gibt und die Bevölkerungszahl der karolingischen Epoche bei nur einigen hundert Einwohnern (MANN 1984) gelegen haben dürfte, kann man davon ausgehen, dass das frühmittelalterliche Aachen in seiner grundlegenden Struktur etwa dem römischen vicus bei allerdings geringerer Einwohnerdichte entsprach (SCHAUB 2013).

Nach der Blütezeit unter Karl dem Großen ging die Bedeutung Aachens als Pfalzstandort wieder zurück. Einen weiteren vorläufigen Niedergang erlebte die Region dann durch die Normanneneinfälle ab 881 n. Chr., bei denen die Pfalzanlage teilweise zerstört wurde, sowie dem anschließenden Zerfall des Frankenreiches (MÜLLER 2000; POLL 1960).

4.4 Mittelalter

Auch wenn nach dem Ende des Frankenreichs die Bedeutung Aachens zurückging, wirkte der Mythos, der bald um Karl den Großen entstand, nach. So konstituierte sich Aachen ab dem 10. Jahrhundert n. Chr. als Krönungsort der römisch-deutschen Könige (MÜLLER 2000). Im Jahr 936 n. Chr. ließ sich Otto I. in

Aachen krönen und begründete damit die durch das gesamte Mittelalter andauernde Tradition der Königskrönung in Aachen (POLL 1960).

Der durch diesen Bedeutungszuwachs erfolgende wirtschaftliche Aufschwung der Stadt zeigte sich auch durch das sich verändernde Wegenetz. Während Aachen in römischer Zeit nur durch Nebenstraßen an das Fernwegesystem angeschlossen war, wurde es im Mittelalter durch den Bau der Heerstraße Frankfurt-Aachen wichtiger Teil eines überregionalen Verkehrsnetzes (KELLER 2004; SCHMITT 1972).

Von bedeutendem Einfluss auf die Topographie, sowie die weitere strukturelle Entwicklung des Aachener Innenstadtbereichs, war die Errichtung der beiden mittelalterlichen Stadtmauern.

Nach dem Zerfall des Karolingerreiches brachen zunehmend Fehden in der nun politisch kleinteilig zersplitterten Region aus. Dies machte, zusammen mit der zunehmenden Bedeutung Aachens als Handels- und Gewerbeplatz, einen Schutz gegen feindliche Angriffe notwendig (SCHMITT 1972).

Ein erster Mauerring wurde 1171 unter Kaiser Friedrich I. Barbarossa begonnen, in der Folge nach diesem benannt, und bis zum Ende des 12. Jahrhunderts n. Chr. fertiggestellt (POLL 1960). Die Barbarossamauer wies eine Länge von ca. 2.500 m auf und umfasste eine Fläche von ca. 0,5 km². Die Mauer umgab den gesamten Sporn des Markthügels und damit den damaligen Kernsiedlungsbereich. Der Johannisbach trat im Südwesten in den Mauerring ein und verließ ihn im Nordosten wieder, während die Ponell außerhalb der Mauer im Südosten vorbeifloss. Der Paubach, der bereits in römischer Zeit von der Paunell abgeleitet wurde (PICK 1895), trat auf der Südseite in den Mauerring ein und verließ diesen im Südosten wieder. Die Verteidigungsanlage bestand aus einem Graben- und einem Mauerring. Der Graben wies bei einer Breite von 10-12 m eine Tiefe von 7-8 m auf und war teilweise mit Wasser gefüllt. Die Möglichkeit der Flutung ergab sich dort wo einer der Bachläufe den Grabenring kreuzte und durch die Topographie das Wasser weitergeleitet werden konnte. Die Mauer selbst hatte eine Höhe von 8-10 m und eine Stärke

von 1,5-2,5 m (KRAUS 2014). Als Baumaterial dienten neben Kalksteinen vor allem die devonischen und karbonischen Sandsteine, die vor allem im Bereich Laurensberg, Vetschau und Orsbach abgebaut wurden (KASIG 2000; KASIG 2011). Die Mauer wurde unterbrochen von insgesamt 10 Stadttoren, sowie einer heute nicht mehr bekannten Anzahl an Türmen, deren Lage sich nach der Richtung der Hauptstraßen richtete (HUYSKENS 1940).

In der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts n. Chr. kam es zu territorialpolitischen Auseinandersetzungen zwischen dem Grafen von Jülich und dem Erzbischof von Köln. Im Verlauf dieser Auseinandersetzung kam es 1248 zur Belagerung von Aachen durch Wilhelm von Holland der sich, gegen den Widerstand der Aachener Bürgerschaft, in der Stadt als Gegenkönig krönen lassen wollte (KRAUS 2014). Die zunächst vergebliche Belagerung führte schließlich durch den Bau eines Dammes und die darauffolgende Überflutung weiter Teile der Stadt zum Erfolg. Der Damm wurde östlich der Stadt in etwa 200-400 m Entfernung zur Barbarossamauer auf einer Länge von ca. 650 m angelegt (RHOEN 1894). Dadurch konnte das Wasser der Bäche, die das Stadtgebiet durchflossen und kurz vor dem Damm zusammentreffen innerhalb des inneren Aachener Kessels aufgestaut werden. Aufgrund der durch die Überflutung verursachten Zerstörung von Wohnraum und Nahrungsmitteln kam es im Oktober 1248 schließlich zur Übergabe der Stadt an die Besatzer (POLL 1960).

Die Erfahrungen aus der Belagerung und Überflutung von Aachen sowie eine im 13. Jahrhundert einsetzende Landflucht nach Aachen führten im Laufe der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts n. Chr. zu Planung und Bau eines zweiten Mauerrings (KRAUS 2014).

Die neue Verteidigungsanlage wurde in einem Abstand von etwa 200-500 m von der Barbarossamauer, die zunächst weiter bestehen blieb, errichtet. Die Länge der zweiten Stadtmauer betrug nun ca. 5.400 m und umfasste damit eine Fläche von ca. 1,8 km² (BERTRAM 1949). Der Verlauf der Mauer richtete sich nach siedlungsgeographischen Gesichtspunkten, wie der Einbeziehung von an den Ausfallstraßen entstandenen Siedlungen, sowie nach den topographischen Gegebenheiten (RHOEN 1894). So wurden deutlich höher

gelegene Areale miteingeschlossen, die zusammen mit der größeren Fläche eine erneute Überflutung erschweren sollten. Auch wurde der zweite Mauerring deutlich stärker als der erste ausgelegt.

Die Mauer hatte jetzt eine Höhe von bis zu 12 m und eine Stärke von 2-4 m. Auch die zweite Verteidigungsanlage hatte einen vorgelagerten Graben, der jetzt bis zu 24 m breit und teilweise 28 m tief war (HUYSKENS 1940). Als Baumaterial für die Mauer dienten im Wesentlichen die gleichen Ressourcen wie beim Bau der Barbarossamauer. Neben Grauwacke wurden vor allem Kalk- und Sandsteine aus dem Raum Laurensberg, Vetschau und Orsbach verbaut (KASIG 2000). Die zweite Stadtmauer wies insgesamt 11 Tore und 22 Türme auf. Die Türme wurden vor allem im Westen und Norden errichtet, da hier die Stadtgräben, ähnlich wie bei der Barbarossamauer, aufgrund der Topographie nicht geflutet werden konnten (PICK 1895; RHOEN 1894). Mit den Toren wurde der Verlauf des Straßennetzes zwischen den beiden Stadtmauern vorgegeben. So liegen die meisten Tore leicht versetzt zur Flucht der Tore der Barbarossamauer, was zu einer leichten Krümmung der Straßenverläufe zwischen den Mauern führte. Auch die orthogonale, relativ geradlinige Siedlungsstruktur der Römer im inneren Ring wich im Bereich zwischen den Mauern einer deutlich unregelmäßigeren mittelalterlichen Struktur (CURDES 1999). Bedeutsam für den Einfluss der Siedlungstätigkeiten auf die Topographie während des Mittelalters sind unter anderem die Zeiträume, in denen der Innenstadtbereich vollständig bebaut und damit überprägt wurde. Während der innere Mauerring bis zum 13. Jahrhundert vollständig besiedelt wurde, war der Bereich zwischen den Mauern erst im 19. Jahrhundert vollständig bebaut (SCHREIBER 1981).

4.5 Frühe Neuzeit

Die frühe Neuzeit war für die Stadt Aachen geprägt durch eine Reihe von Ereignissen, die zu einer Stagnation in der Siedlungsentwicklung führte. So wurde 1531 die letzte Königskrönung in Aachen durchgeführt und mit ihr eine für die Bedeutung Aachens wichtige Tradition beendet (POLL 1960). Darüber hinaus kam es im 16. Jahrhundert im Zuge der Reformation zu den „Aachener

Religionsunruhen“, in deren Verlauf vor allem protestantische Handwerker abwanderten oder ausgewiesen wurden (KAEMMERER 1975).

Ein weiteres Ereignis, das in den archäologischen Befunden regelmäßig als dunkler Brandhorizont zu erkennen ist (KELLER 2004), war der große Stadtbrand von 1656. Der Brand hatte seinen Ursprung in der Jakobstraße und damit am höchsten Punkt innerhalb der Mauerringe. Die erhöhte Lage hat zusammen mit dem vorherrschenden Westwind Funken schnell über einen großen Teil der Stadt verbreitet und diese in Brand gesteckt (KRAUS 2007). Innerhalb von 20 Stunden verbrannten 4.664 Häuser und damit etwa 90% der damaligen Bebauung. Das Straßensystem und die Gliederung der Baublöcke blieben aber weitgehend erhalten. Dadurch führte der Brand nur zu wenigen Änderungen in der Struktur der Stadt. Allerdings änderte sich das Aussehen, da die Holzfachwerkbauweise, die das Stadtbild vor dem Brand dominierte, nun vorwiegend durch Steinbauweise ersetzt wurde (SCHMITT 1972). Jedoch führte der Brand zunächst zu einer wirtschaftlichen Schwächung der Stadt Aachen und einem weiteren Bevölkerungsrückgang. In Kombination verhinderte dies einen schnellen Wiederaufbau der zerstörten Stadt (CURDES 1999).

Mit dem Übergang zum 18. Jahrhundert n. Chr. erholte sich die Stadt dann langsam wieder von der Brandkatastrophe. Einen wesentlichen Anteil an diesem Aufschwung hatte die Wiederbelebung der Thermalquellennutzung. Der Badebetrieb war im Mittelalter lange unterbrochen und wurde erst am Ende des 17. Jahrhunderts n. Chr. durch den Bau von Bädern, Trinkbrunnen und entsprechenden Infrastruktureinrichtungen wieder aufgenommen (KAEMMERER 1975). In der Folge entwickelte sich Aachen im Laufe des 18. Jahrhunderts zu einer modernen, über die Landesgrenzen hinaus bekannten Kurstadt.

Einen gewissen Einfluss auf die Topographie der Stadt hatte dann die Besetzung der Stadt durch die Franzosen im Jahr 1792. Sie ordneten die Schleifung der Stadtmauern und die Verfüllung der zugehörigen Gräben an. Während die Barbarossamauer bereits im 17. Jahrhundert vernachlässigt und als Baumaterial teilweise abgetragen wurde, war der zweite Mauerring am Ende des 18. Jahrhunderts noch nahezu vollständig erhalten. Unter der französischen

Besatzung wurde damit begonnen die Mauer abzureißen. Auch hier wurde das Material, insbesondere Grauwacke und Blausteine, zur Errichtung neuer Gebäude herangezogen (RHOEN 1894). Die Gräben vor den Mauern wurden verschüttet und zu Ringstraßen umfunktioniert, die man im Norden teilweise als Promenade ausgestaltete (CURDES 1999).

Die Franzosen etablierten zusätzlich auch eine Reihe von Neuerungen, die Einfluss auf die weitere Entwicklung der Stadt hatten. Neben Säkularisierungsmaßnahmen und der Einführung der Gewerbefreiheit ist vor allem die Erstellung einer ersten präzisen Karte (Tranchot-Karte) des Stadtgebiets zu nennen (KRAUS 1994).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Morphologie der Aachener Innenstadt maßgeblich durch die mittelalterliche Stadtanlage, welche sich wiederum stark an den römischen und in Teilen karolingischen Strukturen orientierte, geprägt war. Der Einfluss während Renaissance und Barock auf die Topographie waren dagegen eher gering.

4.6 Industrialisierung

Nach der Herrschaft der Franzosen übernahm 1815 Preußen wieder die Hoheit über die Stadt. Der von England ausgehende Industrialisierungsprozess erreichte Aachen dann zu Beginn des 19. Jahrhunderts und führte dank der von den Franzosen durchgesetzten strukturellen Modernisierungen, zu einem raschen Aufschwung der Region (CURDES 1999).

Eine wesentliche Triebfeder der Industrialisierung, die auch einen Einfluss auf die Topographie im Aachener Stadtgebiet hatte, war der Bau der Eisenbahn. Im Jahr 1841 wurde die Verbindung Köln-Aachen-Brüssel-Paris eröffnet und 1853 die Verbindung nach Düsseldorf und Maastricht. Neben der Errichtung großer Bahnhofsanlagen war vor allem die Aufschüttung der Bahndämme verantwortlich für eine linienhafte Änderung in der Topographie (BRUCKNER 1967).

Der Aufschwung schlug sich auch im Bevölkerungswachstum nieder. Im Laufe des 19. Jahrhunderts wuchs die Einwohnerzahl von etwa 3.000 im Jahr 1812 auf 135.000 im Jahr 1900 (ERDMANN 1986; CURDES 1999). Mit dem Bevölkerungszuwachs ging eine deutliche Ausweitung der Siedlungsfläche einher. Während weite Teile des Bereiches zwischen den beiden Stadtmauern noch bis zur Mitte des Jahrhunderts unbebaut waren, änderte sich dies in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts. Spätestens ab den „Gründerjahren“ 1871 bis 1873 führte das Bevölkerungswachstum dazu, dass die Siedlungsfläche auch über den zweiten Ring ausgeweitet werden musste. In dieser Phase kam es daher zu einer Erweiterung der Stadt nach Osten (SCHREIBER 1981).

Die Ausdehnungsrichtung wurde vor allem durch die Topographie bestimmt. Während das Stadtgebiet im Westen und Süden durch die Staatsgrenzen limitiert war, steigt das Gelände hier, wie auch im Norden, stark an, so dass eine planmäßige, großflächige Bebauung hier durch die Topographie erschwert wird. Die einzigen großen, relativ ebenen Freiflächen befanden sich damals im erweiterten Auenbereich der Wurm, sowie des Gilles- und des Beverbaches.

Insgesamt kam es während der Industrialisierung des 19. und frühen 20. Jahrhunderts innerhalb des Untersuchungsgebiets im Wesentlichen zur Errichtung von vier Wohn- sowie drei Industriegebieten.

Bei den Wohngebieten handelt es sich um die vier gründerzeitlichen Viertel deren zeitliche Entwicklung von CURDES (1999) und SOKULL (2010) aufgezeigt wurde:

- Das **Rehmviertel** wurde ab 1863 errichtet und war die erste planmäßige Bebauung außerhalb des mittelalterlichen Mauerrings. Die ersten Gebäude entstanden daher auch in direkter Nähe zum Ring, während sich das Viertel bis zu seiner Vollendung im Jahr 1910 immer weiter nach Osten ausbreitete.
- Ab 1874 begann der Bau des **Steffensviertels**. Auch hier fing die Bebauung unmittelbar außerhalb der ehemaligen zweiten Stadtmauer an und setzte sich bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts nach Osten fort.

- Das **Frankenberger Viertel** entstand ab 1872 und war bis 1929 als letztes der drei Ostviertel vollständig bebaut. Hier ging die Richtung der Besiedlung von West nach Ost und Südost.
- Als einziges größeres Wohnviertel im Norden wurde ab 1878 das **Lousbergviertel** errichtet. Es erstreckt sich ebenfalls außerhalb des Alleenrings, entlang der West- und Südseite des Lousbergs und wurde als reines Villenviertel konzipiert. Aufgrund des hier stark ansteigenden Geländes wäre die in den Ostvierteln verbreitete Blockrandbebauung dort auch nicht durchführbar gewesen.

Für die Errichtung der Industriebetriebe in den östlichen Stadtteilen war neben der Topographie auch die Westwindlage Aachens verantwortlich. Durch diese wurde der Einfluss der starken Emissionen, insbesondere aus den Hüttenwerken, auf die Wohnflächen des Innenstadtbereichs begrenzt (SCHREIBER 1981). Darüber hinaus war die Anbindung an den Schienenweg entscheidend. Insgesamt entstanden ab der Mitte des 19. Jahrhunderts die drei Industriegebiete im Stadtteil Rothe Erde, an der Jülicher Straße und nahe dem Westbahnhof (SOKULL 2010).

Zusammenfassend manifestiert sich der Einfluss der Industrialisierungsepoche auf die Topographie vor allem durch die Errichtung des Eisenbahnnetzes sowie die relativ großflächigen Stadterweiterungen. Wie bereits in der Einleitung des Kapitels erwähnt, sind die archäologischen Befunde dieses Zeitabschnitts nicht geeignet die Entwicklungen nachzuverfolgen, so dass hierfür vor allem historische Beschreibungen und Karten herangezogen werden müssen.

4.7 Der 2. Weltkrieg

Die Stadterweiterungen während der Industrialisierung und Gründerzeit waren bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts abgeschlossen (s. Kap. 3.6). Der gesamte innere Aachener Kessel war damit bebaut. Der erste Weltkrieg und die schwierige wirtschaftliche Lage nach dessen Ende führte zu einer eher geringen Bautätigkeit bis in die 1930er Jahre (CURDES 1999).

Die nächsten größeren Eingriffe in die Oberflächenform des Aachener Stadtgebiets erfolgten dann zum einen durch den Bau der verschiedenen Westwallanlagen in Vorbereitung auf den zweiten Weltkrieg, zum anderen durch die massiven Zerstörungen während des Krieges und deren Beseitigung in den ersten Jahren danach.

Der Westwall wurde ab 1936 angelegt, um sich im Falle eines Krieges im Osten gegen einen Angriff Frankreichs im Westen abzusichern. Ein verstärkter Ausbau erfolgte dann ab 1938 (GROß 1982). Aachen als westlichste Großstadt Deutschlands wurde durch das Aachen-Saar Programm ab 1939 besonders gesichert (GROß 1998). Einen größeren Einfluss auf die Landschaftsmorphologie hatte der Bau der Verteidigungsanlage im Bereich des Aachener Waldes. Hier kam es, wie in Abb. 5 bereits gezeigt, zur Errichtung einer großen Zahl von Bunkern, die teilweise heute noch als Vollformen zu erkennen sind. Für die Herstellung des Betons der Bunker wurde oftmals Sand aus der unmittelbaren Nähe verwendet (BETTINGER & BÜREN 1990). Es ist daher davon auszugehen, dass einige der Abgrabungen der Aachener und Vaalser Sande, die als Hohlformen entlang der Höhenzüge im Aachener Wald zu erkennen sind, auf diese Baumaßnahmen zurückzuführen sind. Weitere Hohlformen wurden durch das Ausheben von Schützengräben und Artilleriestellungen vor allem im Jahr 1944 geschaffen (LOIBL & LEHMKUHL 2013).

Eine topographische Umformung des Untersuchungsgebiets in viel größerem Ausmaß wurde ausgelöst durch die Zerstörungen, die die Luftangriffe auf die Stadt Aachen seit 1940 verursachten. Am Ende des Krieges waren nahezu der gesamte Stadtkern sowie 62% der Wohnungen und 60% der bebauten Flächen zerstört worden (SCHMIDT-HERMSDORF 1984) (s. Abb. 7).

Während der Kämpfe um Aachen verließen die meisten Bewohner im September 1944 die Stadt. Die größten Schäden betrafen den Bereich innerhalb des Alleenrings, sowie Teile der Ostviertel. Insgesamt fielen etwa 3 Millionen km^3 Trümmer an (CURDES 1999). Diese mussten nach dem Krieg aus der Stadt geschafft werden, um Platz für den Wiederaufbau der beschädigten und zerstörten Gebäude zu schaffen. Für den Abtransport des Trümmerschutts wurde vor allem das wiederinstandgesetzte Straßenbahnnetz genutzt, das partiell durch sogenannte Trümmerbahnen ergänzt wurde. Nachdem das Material außerhalb der vormals bebauten Flächen verbracht worden war, konnte ein Teil als Baumaterial wiederverwendet werden (DEUBNER 2008). Das meiste wurde jedoch auf Halden außerhalb der damaligen Siedlungsflächen abgelagert, deren Lage und Größenordnung allerdings nur ungefähr bekannt ist (HERWALD ET AL. 2013).

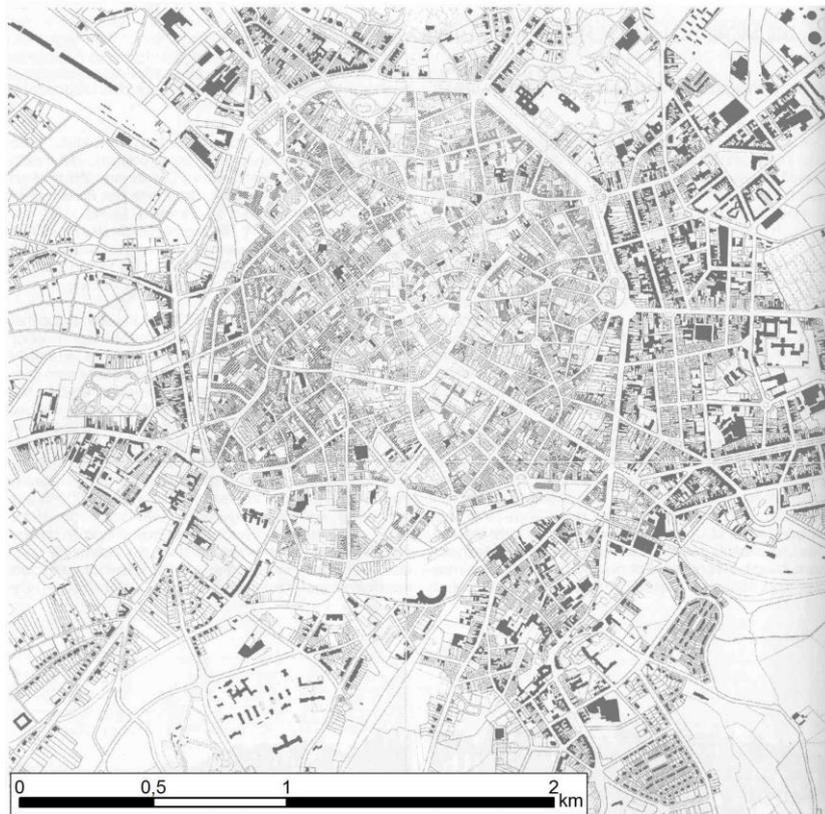


Abbildung 7: Zerstörte Gebäude (helgrau) 1949 im Innenstadtbereich. Intakte Gebäude sind schwarz markiert (Quelle: CURDES 1999).

Im weiteren Verlauf des 20. Jahrhunderts wurden zunächst vor allem die Kriegslücken in der Bebauung geschlossen, bis sich in den 1960er Jahren, bedingt durch erste Suburbanisierungsprozesse, entlang der Ausfallstraßen größere Neubausiedlungen entwickelten. Diese entstanden nun auch zunehmend in südlicher und südöstlicher Richtung, während im Westen und Norden weiterhin die nahe Grenze und der Lousberg die Besiedlung einschränkten. 1972 kam es dann zu einer Gebietsreform mit etlichen Eingemeindungen, durch die Aachen seine heutige Ausdehnung erreicht hat (CURDES 1999).

5 Datenmaterial und Methoden

5.1 Datenbestand

Da die vorliegende Arbeit einen stark interdisziplinären Ansatz verfolgt, setzt sich auch die Datengrundlage aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen zusammen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um geologische, archäologische und historische Daten und Quellen.

5.1.1 Geologische Bohrdaten

Die Hauptdatenquelle für die Rekonstruktion der Paläooberfläche des Aachener Kessels besteht aus Informationen, die aus geologischen Beobachtungen und Bohrkernen gezogen werden können.

Der Beginn der systematisch angelegten geologischen Erfassung des Aachener Untergrunds geht auf die Zeit des Wiederaufbaus nach dem zweiten Weltkrieg zurück. Zunächst wurden Beobachtungen in den Aufschlüssen von Baugruben und Ausschachtungen für Leitungen gesammelt und archiviert. Später wurden aktiv Flachbohrungen mit Handbohrgeräten durchgeführt mit dem Ziel, eine Baugrundkarte des Aachener Stadtgebiets im Maßstab 1:5.000 zu erstellen. Auf dieser sollten Festigkeitseigenschaften, Bearbeitbarkeit und Belastbarkeit des anstehenden Gesteins im Hinblick auf eine spätere Bebauung verzeichnet werden (BREDDIN ET AL. 1961). Die erste Auflage der Karte erschien im Jahr 1963 und wurde seitdem laufend erweitert und präzisiert.

Insbesondere wurde sie um eine hydrogeologische Darstellung sowie eine Profildarstellung ergänzt. Ermöglicht wurde dies durch eine massive Ausweitung der Bohrtätigkeit, insbesondere von Rammkernbohrungen im Vorfeld von Baumaßnahmen. Dies führte im Jahr 1991 zu einer überarbeiteten, detaillierteren Karte, herausgegeben vom Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie der RWTH Aachen (Azzam 2011). Abbildung 8 zeigt diese Karte beispielhaft im Bereich der westlichen Innenstadt.

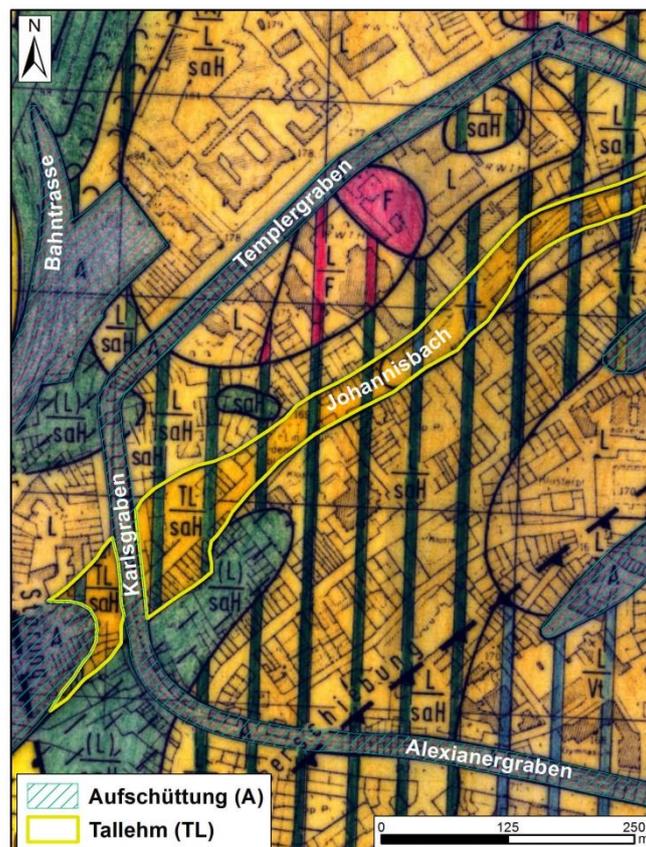


Abbildung 8: Ausschnitt aus der ingenieur-geologischen Karte mit markierten Bereichen des Tallehms und der anthropogenen Aufschüttungen.

Im Rahmen der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit konnte das Kartenwerk vor allem aufgrund seiner umfassenden Darstellung der Bereiche mit Tallehm verwendet werden, da diese Hinweise auf den ungefähren Verlauf der Aachener Bäche liefern. Des Weiteren sind auf der Karte Bereiche mit größeren Volumina anthropogener Aufschüttungen markiert. Allerdings sind diese nur stark generalisiert und erst ab einer Mächtigkeit von drei Metern dargestellt, so dass die Verwendung der Kartierung allein keinesfalls

ausreichend für eine hochauflösende Visualisierung der Aufschüttungen ist. Hierfür mussten die Rohdaten, die die Grundlage der Baugrunderkarte bilden, herangezogen werden.

Ein vollständiger Datensatz über die geologischen Bohrungen und Beobachtungen liegt der Stadt Aachen (Fachbereich Umwelt – Sachgebiet Vorsorgender Bodenschutz FB 36/502) vor, und wurde von dieser zur Verfügung gestellt.

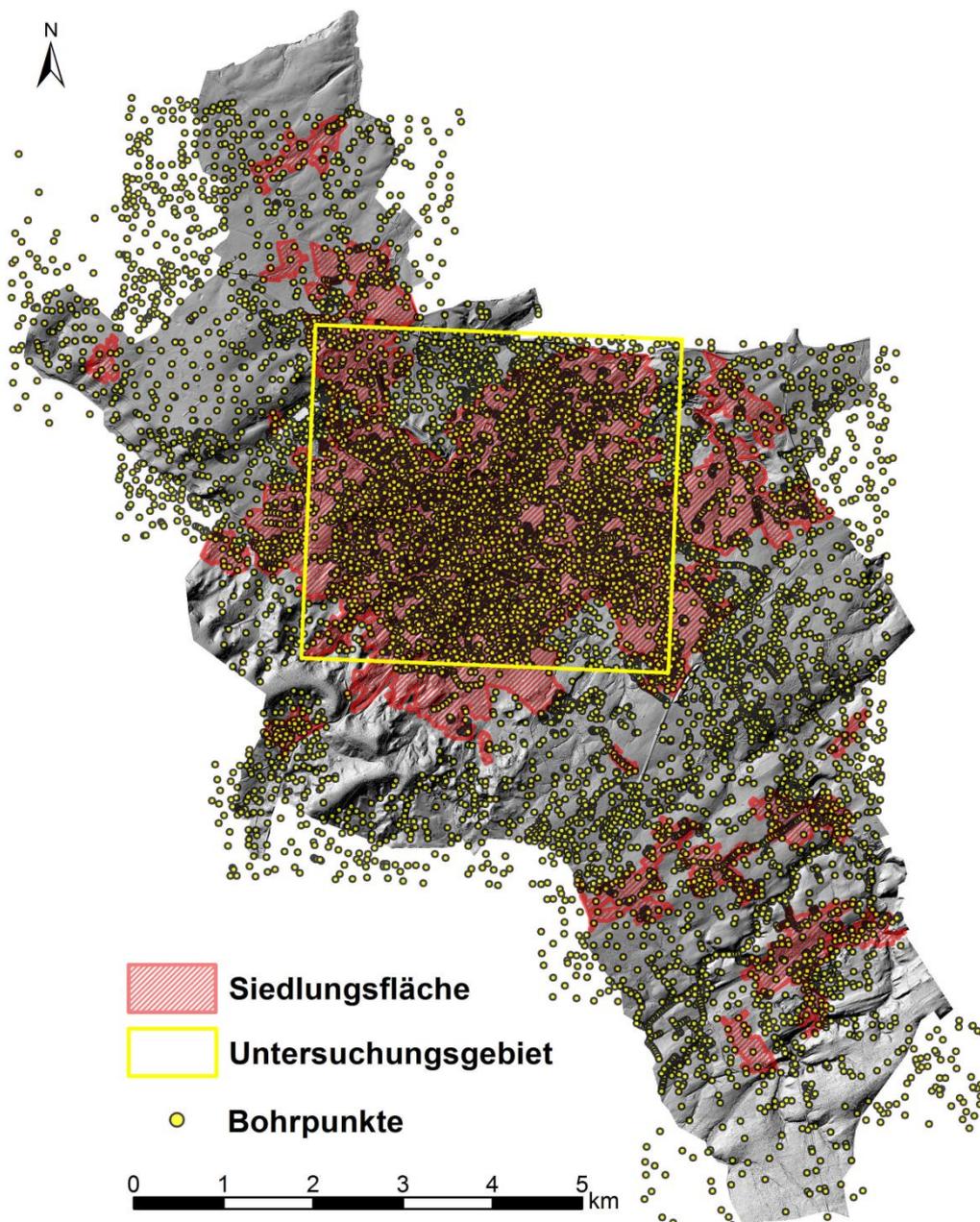


Abbildung 9: Das Untersuchungsgebiet innerhalb des Aachener Stadtgebiets mit der Verteilung der geologischen Bohrpunkte.

Der Datensatz umfasst insgesamt 22.049 Einträge (Stand 2014), verteilt über das gesamte Stadtgebiet (s. Abb. 9). Innerhalb des Untersuchungsgebiets liegen 13.921 Punkte. Jeder der Einträge entspricht einer Bohrung oder geologischen Beobachtung. Die Verteilung der Punkte ist unregelmäßig und orientiert sich vor allem an durchgeführten Baumaßnahmen. Folglich befinden sich in unbebauten Gebieten deutlich weniger Punkte.

Die für die vorliegende Arbeit relevanten Informationen zu jedem der Einträge umfassen i. W. eine ID-Nummer zur eindeutigen Identifizierung, das Datum der Durchführung und eine Beschreibung der ungefähren Lage (i.d.R. die Adresse). Zur genauen Verortung der Maßnahme sind die Koordinaten als Rechts- und als Hochwert im Gauß-Krüger-Koordinatensystem angegeben. Die Stratigraphie wird dargestellt durch Höhenwerten der Geländeoberkante des jeweilig Hangenden und Liegenden, die auf 0,1 m gerundet sind. Zu den einzelnen Schichten sind Angaben über deren Zusammensetzung, insbesondere Gesteins- oder Bodenart bzw. Korngrößen aufgeführt (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Beispiel eines Datensatzes aus den geologischen Bohrdaten.

ID	Ort	HANGEND	LIEGEND	LITHOLOGIE	BEZEICHNUNG	Datum	Rechtswert	Hochwert
17965	Hansemannplatz	0	1,3	A	Aufschüttung	1960	2506638	5627025
17965	Hansemannplatz	1,3	1,6	U+S+G	Tallehm	1960	2506638	5627025
17965	Hansemannplatz	1,6	2,8	U,t	Verwitterungslehm	1960	2506638	5627025

Da es sich primär um geologische Daten handelt, sind sämtliche anthropogenen Schichten die über dem anstehenden Gestein oder Boden liegen oftmals nicht näher spezifiziert, sondern ausschließlich als Aufschüttung klassifiziert. Daher ist die Nutzung dieser Datenquelle beschränkt auf die Ermittlung der Gesamtaufschüttung. Eine zeitliche Auflösung der Aufschüttungen kann aus diesen Daten allein zunächst nicht abgeleitet werden.

5.1.2 Archäologische Dokumentationen

Die zweite wesentliche Quelle für die Rekonstruktion der Paläooberfläche stellen die archäologischen Grabungsdokumentationen dar.

Die archäologische Forschungsgeschichte in Aachen reicht weit zurück. Bereits im Mittelalter wurden Versuche unternommen, das Grab Karls des Großen zu finden (BUCHKREMER 1907). Die ersten planmäßigen und damit auch dokumentierten Ausgrabungen fanden ab der Mitte des 19. Jahrhunderts statt. Während in dieser Frühphase der archäologischen Forschung das Interesse noch hauptsächlich auf dem römischen und karolingischen Aachen lag, wurden im Lauf der folgenden Jahrzehnte, unter wechselnder Leitung und Qualität, zunehmend auch spätere Epochen dokumentiert (KELLER 2004). Heute wird die Notwendigkeit von archäologischen Untersuchungen, i.d.R. im Vorfeld von Baumaßnahmen, von der 2006 neu gegründeten Stadtarchäologie Aachen festgestellt und vom Bodendenkmalamt des Landschaftsverband Rheinland (LVR) angeordnet. Nach dem Verursacherprinzip muss der Bauherr die Archäologische Begleitung durch eine Grabungsfirma durchführen lassen. Die Durchführung und Dokumentation hat sich nach den Grabungsrichtlinien des LVR zu richten. Nach diesem werden archäologische Ausgrabungen nach dem „Rheinischen Stellensystem dokumentiert (LVR 2011). Hierbei erhält jede Maßnahme eine Aktivitätsnummer durch die sie eindeutig zuordenbar ist.

Der Großteil der archäologischen Dokumentationen wird heute im Ortsarchiv des LVR-Amts für Bodendenkmalpflege in Bonn archiviert und kann vor Ort eingesehen werden.

Für das Stadtgebiet Aachen liegen im Ortsarchiv insgesamt 736 dokumentierte archäologische Maßnahmen vor (Stand 2018). Ähnlich wie bei den geologischen Bohrpunkten ist die Verteilung der archäologischen Maßnahmen unregelmäßig, da ebenfalls meist im Vorfeld von Baumaßnahmen durchgeführt. Aufgrund der siedlungshistorischen Relevanz liegen die archäologischen Untersuchungen größtenteils innerhalb der beiden historischen Grabenringe sowie im historischen Teil des Ortsteilsurtscheid.

Innerhalb des inneren Mauerrings ist allerdings vor allem im westlichen Bereich nur eine geringe Punktdichte zu verzeichnen (s. Abb. 10).

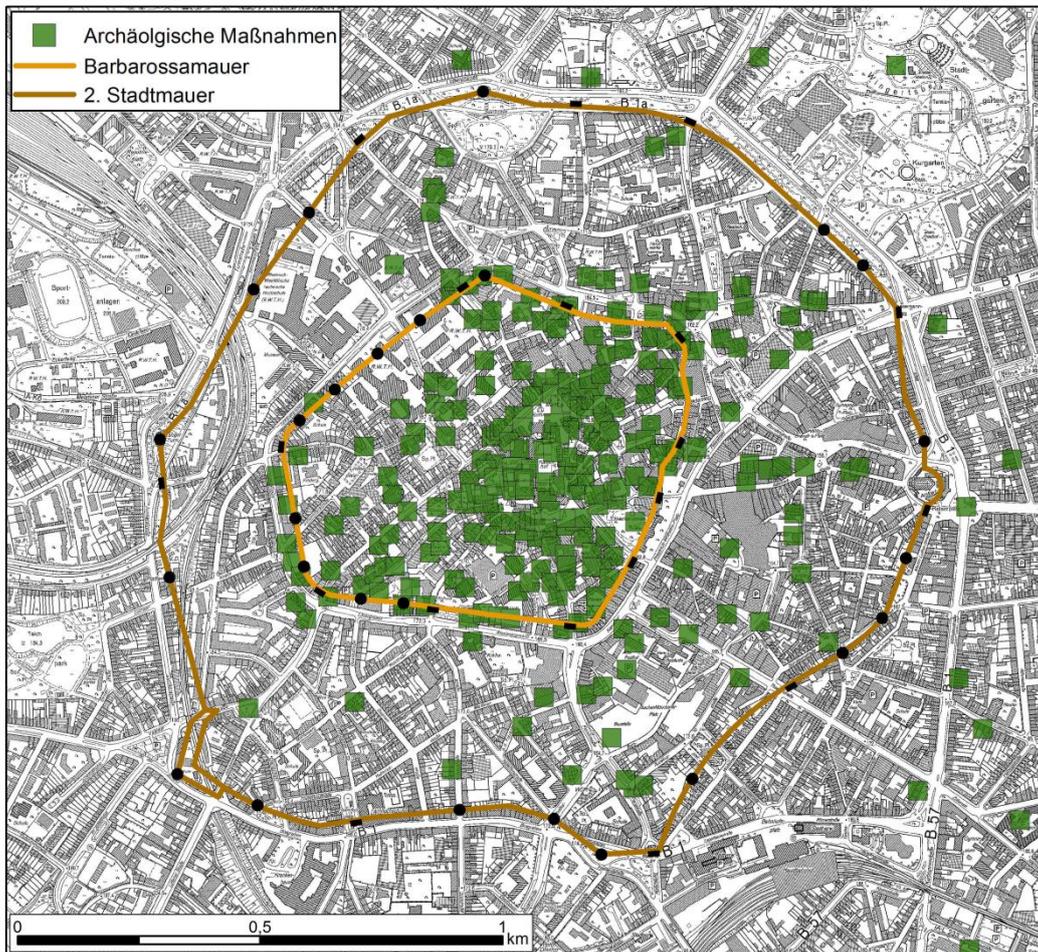


Abbildung 10: Verteilung der archäologischen Maßnahmen im historischen Kernstadtbereich.

Die Art und Weise sowie der Umfang der Dokumentation sind dabei äußerst inhomogen. Sehr alte Grabungen aus dem 19. Jahrhundert weisen häufig nur grobe Skizzen und Beschreibungen auf, während die neueren Maßnahmen, aufgenommen nach dem Rheinischen Stellensystem, durch präzise Einmessungen, Kartierungen sowie detaillierte Abschlussberichte dokumentiert sind.

Die für die vorliegende Arbeit notwendigen Informationen umfassen zunächst eine möglichst genaue Verortung der Maßnahme. Diese wurde bei den meisten archäologischen Grabungen mit Hilfe eines Theodolits oder Tachymeters bestimmt. Bei den jüngeren Maßnahmen wurden zusätzlich GPS-Daten herangezogen. Alle Koordinatenangaben, falls vorhanden, sind im

System „Gauß Krüger“ angegeben. Weitere notwendige Informationen sind möglichst präzise Angaben zu den eventuell festgestellten Siedlungshorizonten verschiedener Epochen. Insbesondere deren jeweilige Höhenlage muss genau ermittelt worden sein um für die vorliegende Arbeit genutzt werden zu können. Diese Höheninformationen lassen sich innerhalb der archäologischen Dokumentation meist aus Profilzeichnungen der Maßnahme ablesen (s. Abb. 11). Teilweise können aber auch detaillierte Beschreibungen im Grabungsbericht oder den Stellenkarten ausreichend sein, um eine hinreichend genaue Verortung vorzunehmen.

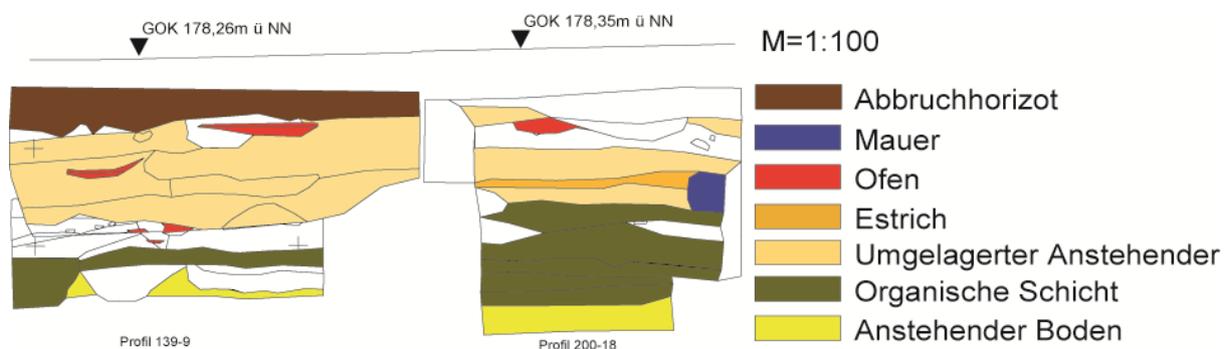


Abbildung 11: Beispiel einer Profilzeichnung einer archäologischen Maßnahme mit Höhenangaben der Geländeoberkante.

Im Gegensatz zu den geologischen Daten sind die archäologischen Dokumentationen grundsätzlich dazu geeignet, eine zeitliche Auflösung der anthropogenen Aufschüttungen vorzunehmen. Allerdings beinhalten hierfür bei weitem nicht alle Dokumentationen ausreichend Informationen. Vor allem ältere Grabungsberichte können aufgrund des Verlusts von Dokumenten oder wegen einer nur unzureichenden Beschreibung des Vorgehens und der Befunde nicht für eine Auswertung herangezogen werden.

Anzumerken ist, dass primär die archäologischen Daten im Bereich des historischen Innenstadtbereichs wie in Abbildung 10 dargestellt, herangezogen wurden. Daten aus dem südöstlich davon gelegenen Burtscheid wurden aufgrund des hierfür zu großen Arbeitsaufwands im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht ausgewertet.

5.1.3 Historisches Kartenmaterial und Literatur

Für die Analyse und Interpretation der erstellten Paläooberflächen, der anthropogenen Aufschüttungen sowie des rekonstruierten Gewässerverlaufes, ist die Kenntnis um ehemalige Siedlungsstrukturen und Bachverläufe notwendig. Hierzu bieten sich historische Karten an, die einer visuellen Auswertung unterzogen und mit den Ergebnissen verglichen werden können. Allerdings lässt sich die Siedlungsgeschichte anhand der vorhandenen Karten nur bis maximal ins 16. Jahrhundert nachvollziehen. Die älteste für die Auswertung nutzbare Darstellung ist ein Kupferstich aus dem Jahr 1576 (s. Anhang 1), auf dem die beiden Stadtmauern mit, teilweise gefluteten Gräben sowie der Bebauungsgrad im 16. Jahrhundert dargestellt ist. Hierbei handelt es sich aber nicht um eine geometrische Abbildung, so dass exakte Quantifizierungen der Flächen nicht vorgenommen werden können. Die „Tranchot-Karte“ (1805-1810) im Maßstab 1:20.000 (s. Anhang 2) ist die älteste Karte, auf der die Bachverläufe innerhalb des Stadtgebiets hinreichend detailliert dargestellt sind. Die Ausdehnung des vorindustriellen Aachens, insbesondere vor der Osterweiterung, zeigt der „Rappard-Plan“ von 1860 (s. Anhang 3). Eine erste topographische Karte, auf der Höhenlinien eingezeichnet sind, ist die „Königlich-Preussische Landes-Aufnahme“ von 1895 im Maßstab 1:25.000 (s. Anhang 4), auf der der erste Ausbau der Ostviertel sichtbar ist. Eine weitere topographische Karte aus dem Jahr 1939 (s. Anhang 5) zeigt den fast vollständigen Ausbau der Ostviertel, sowie detaillierte Höhenlinien und damit die Geländesituation vor dem zweiten Weltkrieg. Die Höhenlinien dieser Karte stammen allerdings aus dem Jahr 1900.

Neben den Kartenwerken wurde auch auf schriftliche Quellen zurückgegriffen, um Rückschlüsse auf ehemalige topographische oder siedlungsgeographische Verhältnisse zu ziehen. So beschreibt RHOEN (1891) und RHOEN (1894) seit 1882 Beobachtungen zu archäologischen Ausgrabungen und Bauaufnahmen. Insbesondere seine Quellenauswertung und Rekonstruktion der Flut von Aachen (s. Kap. 5.2.7 und Kap. 6.7) lässt sich heranziehen, um dieses historische Ereignis neu zu bewerten.

Der Aachener Geschichtsverein e.V. gibt seit seiner Gründung im Jahr 1879 die „Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins“ (ZAGV) heraus. Eine ähnliche Schriftenreihe veröffentlichte der Verein „Aachens Vorzeit“ zwischen 1888 und 1907 mit der Zeitschrift „Aus Aachens Vorzeit“ (AAV). Sowohl in ZAGV als auch in AAV findet sich eine Vielzahl an Beiträgen in denen ehemalige topographische Besonderheiten, Gewässerverläufe, Kanalisierungen oder die Bebauung beschrieben werden.

Für eine Analyse mit Geographischen Informationssystemen (GIS) müssen die Kartenwerke entweder bereits in digitaler Form vorliegen oder hochauflösend gescannt werden. Um einen räumlichen Bezug zu erhalten ist es erforderlich diese Karten dann zu georeferenzieren. Bei der Georeferenzierung wird die digitale Karte mit einem möglichst gleichmäßig über das Kartenblatt verteilten Raster an Kontrollpunkten versehen, wobei jedem Kontrollpunkt eine Koordinate zugeteilt wird. Für das Setzen der Kontrollpunkte benötigt man eindeutig verortbare und auf der Karte deutlich sichtbare Punkte wie Gebäudeecken, Straßenkreuzungen oder Kirchtürme. Da es sich beim Untersuchungsgebiet größtenteils um einen urbanen Raum mit teilweise sehr altem Baubestand handelt, können solche Punkte relativ einfach gefunden werden, so dass die Georeferenzierung der historischen Karten relativ verzerrungsfrei und hinreichend genau möglich ist. Da sowohl die geologische als auch die archäologische Datenbasis im Gauß Krüger System vorliegt, wurde auch den historischen Karten bei der Georeferenzierung dieses Koordinatensystem zugewiesen.

5.1.4 Digitale Geländemodelle

Ein zentraler Bestandteil der vorliegenden Arbeit besteht in der Rekonstruktion von Paläooberflächen der Stadt Aachen. Um diese Oberflächen korrekt einordnen zu können ist es notwendig, die rezente Oberfläche als Bezugsgröße vorliegen zu haben. Die präziseste Darstellung der aktuellen Oberfläche stellt bislang das digitale Geländemodell DGM1 der Stadt Aachen dar.

Ein digitales Geländemodell (DGM) beschreibt die Erdoberfläche anhand von dreidimensionalen Koordinaten, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet und in Lage und Höhe georeferenziert sind. Die Erfassung der Punktwolke für die Höhenwerte erfolgt durch eine flugzeuggestützte Befliegung des Gebietes mittels des LiDAR-Verfahrens (Light Detection And Ranging). Die Nachbearbeitung der so gewonnenen Rohdaten und die Interpolation zur eigentlichen Geländeoberfläche erfolgt durch den Datenbereitsteller, in diesem Fall das Landesvermessungsamt NRW.

Das für die Stadt Aachen vorliegende und hier verwendete DGM1 hat eine räumliche Auflösung von 1 m bei einer Genauigkeit der Höhenwerte von ± 20 cm und wird vom Land NRW kostenfrei zur Verfügung gestellt (LAND NRW 2017). Die Oberflächen von Gebäuden, Verkehrswegen sowie der Vegetation wurden im Rahmen der Nachbearbeitung vom Bereitsteller bereits herausgerechnet. Trotzdem weist das Geländemodell gewisse Fehler auf. So sind Gebäude, Verkehrswege und teilweise die Vegetation reliktsch noch erhalten. Insbesondere die Gebäudegrundrisse zeichnen sich als „Fundamentplatten“ auf dem DGM ab und führen hier zu künstlichen Geländestufen. Da ein großer Teil des Untersuchungsgebietes bebaut ist, führt dies zu einer großflächigen Verfälschung der morphometrischen Parameter. Eine weitere Fehlerquelle stellen Baugruben dar, die zum Zeitpunkt der LiDAR-Befliegung ausgehoben waren und auf dem DGM dann als Geländevertiefung erscheinen (s. Abb. 12).

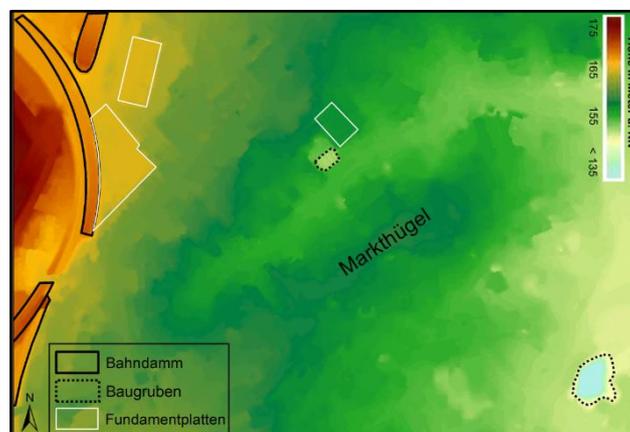


Abbildung 12: Ausschnitt aus dem DGM1 im Bereich des Markthügels mit Relikten die im weiteren Verlauf korrigiert wurden.

Es war daher notwendig, das vorliegende Geländemodell für einige der Analysen manuell nachzubearbeiten (s. Kap 5.2.1). Darüber hinaus wurde das Geländemodell auf das System Gauß Krüger reprojiziert, um einen gemeinsamen geodätischen Bezug zu den vorliegenden Datenquellen zu schaffen.

5.2 Methoden

5.2.1 Digitales Geländemodell und DGM-Derivate

Das DGM1 aus dem Jahr 2012 wurde herangezogen, um eine aktuelle Bezugsfläche für die Rekonstruktion der Paläooberflächen vorliegen zu haben. Darüber hinaus diente es als Basis für die Ableitung rezenter geomorphologischer Geländeparameter, die dann mit den entsprechenden Parametern der Paläo-DGMs verglichen werden können.

Aufgrund von Fehlern im DGM (s. Kap. 5.1.4) ist allerdings eine Nachbearbeitung notwendig. Diese erfolgte in zwei Schritten, entsprechend den zwei Fehlerquellen des Geländemodells.

Zuerst wurden die künstlichen Geländevertiefungen, die vor allem durch Baugruben verursacht wurden, beseitigt. Hierzu wurde das Fernerkundungsprogramm „Geomatica“ der Firma „PCI Geomatics“ verwendet. Geomatica erlaubt, anders als z.B. ArcGIS, die Änderung einzelner Werte eines Rasters. Damit ist es möglich, die unerwünschten Geländedepressionen des DGM1 zu korrigieren und an das umliegende Geländeniveau anzugleichen. Hierzu wurde zunächst das Tool „Edit via Polygons“ verwendet. Mit diesem Tool wird eine Polygonmaske erstellt, unter der die zu korrigierende Fläche liegt. Mit dem Verfahren „Fill from vertices“ werden dann die Geländevertiefungen ausgeglichen, indem die Rasterwerte innerhalb der Maske mit den Höhenwerten an den Maskenecken ersetzt werden. Abbildung 13 zeigt diesen Prozess beispielhaft anhand einer Baugrube im Innenstadtbereich.

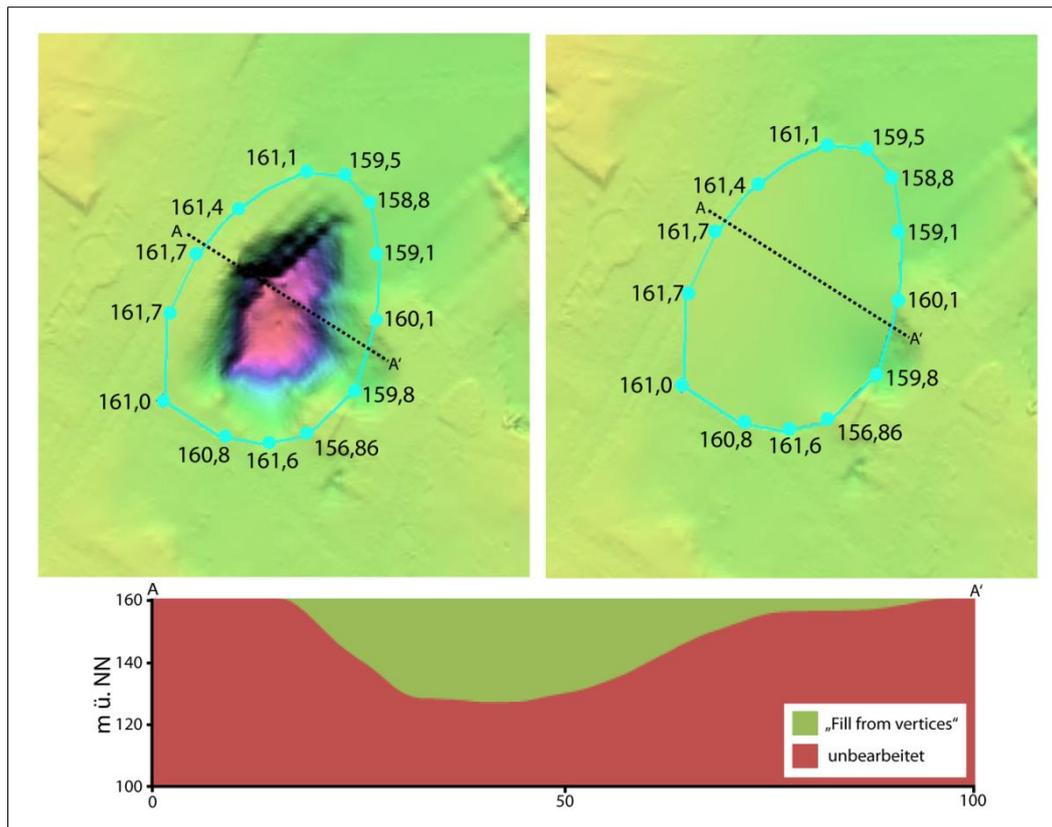


Abbildung 13: Prozess der DGM-Korrektur am Beispiel einer Baugrube die künstlich verfüllt wurde um die eigentliche Geländeoberfläche wiederherzustellen.

In einem zweiten Schritt wurde das DGM1 einer Filterung unterzogen. Während für den Vergleich der rezenten Oberflächenwerte der Datenquellen mit dem aktuellen Geländemodell das ungefilterte DGM1 verwendet wurde, mussten für die Berechnung der morphometrischen Parameter die Fehler des DGM1 bereinigt werden. Vor allem die in einem DGM des urbanen Raumes großflächig vorliegenden Relikte der Gebäudefundamente würden bei morphometrischen Berechnungen zu fehlerhaften Resultaten führen.

Als Filtermethode wurde das ArcGIS-Tool „Focal Statistics“ gewählt. Dieses führt eine Nachbarschaftsoperation durch, durch die ein Ausgabe-Raster entsteht, dessen einzelne Rasterwerte einer Funktion der Werte des Eingabe-Rasters entsprechen, die sich in einer vorher bestimmten Nachbarschaft der jeweiligen Position befinden. Abbildung 14 zeigt einen Ausschnitt aus dem DGM1 vor und nach der Filterung. Es wurde ein rechteckiges (Rectangle) Nachbarschaftsverhältnis bei einer Zellenzahl von 5x5 gewählt, wobei der Durchschnittswert der Nachbarschaftszellen errechnet wurde.

Bei einem DGM1 mit der Rastergröße 1 m wird demnach eine Fläche von 25m² zusammengefasst und das arithmetische Mittel im gefilterten Ausgaberraster dargestellt. Die Auflösung von 5x5 stellt einen Kompromiss dar, mit der die notwendige Herausfilterung der Relikte aus dem DGM gelingt, ohne eine zu große Verfälschung der Topographie durch den Filterprozess in Kauf nehmen zu müssen.

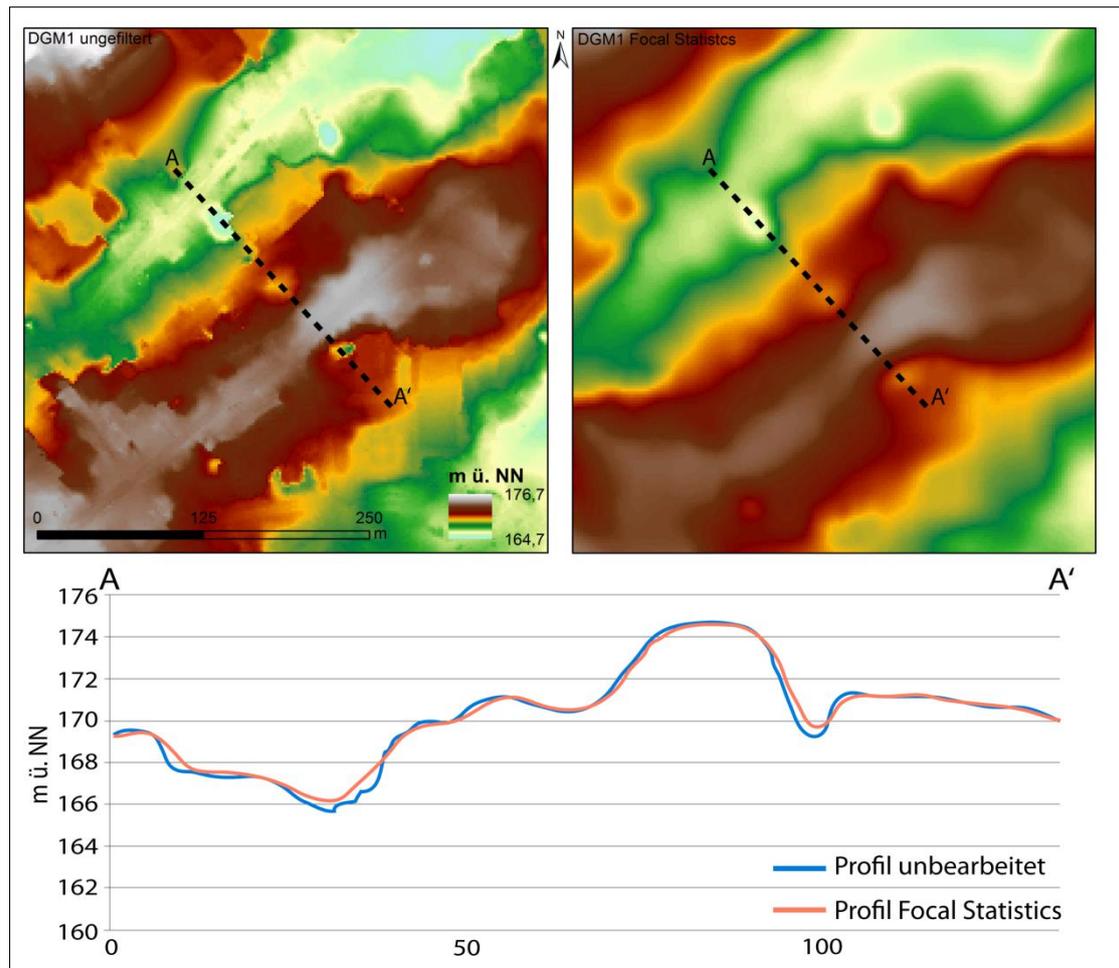


Abbildung 14: Filterung des DGM1 im Bereich des Markthügels. Das Profil lässt erkennen, wie durch die Filterung extreme Geländekanten abgeschwächt werden, während der generelle Geländeverlauf erhalten bleibt.

Das gefilterte DGM1 diene als Grundlage für die Ableitung morphometrischer Geländeparameter. Im Einzelnen sind dies die Hangneigung (Slope), sowie eine Graustufen-3D-Darstellung oder Schummerung (Hillshade). Die Neigung dient dazu, charakteristische Geländesituationen sowie Änderungen in der Oberfläche besser visualisieren und interpretieren zu können. Die Schummerung ermöglicht eine plastischere Darstellung der Geländemodelle.

Diese Derivate des DGMs wurden mit ArcGIS 10.4.1 mit den Tools des „Spatial Analyst“ und des „3D-Analyst“ berechnet und als jeweils eigene Rasterdatei dargestellt.

5.2.2 Bearbeitung der historischen Karten

Die historischen Karten dienten vor allem als Informationsquelle über ehemalige Siedlungs- und Bebauungsgrenzen. Nach der Georeferenzierung der Karten (s. Kap. 5.1.3) wurden die relevanten Bereiche mit ArcGIS digitalisiert, um sie mit den Interpolationen der Paläooberfläche bzw. der anthropogenen Aufschüttungen verschneiden zu können.

Darüber hinaus wiesen einige der topographischen Karten Höhenlinien auf, die in Qualität und Quantität geeignet waren, um aus ihnen Geländemodelle zu interpolieren. Grundsätzlich können DGMs aus Höheninformationen erzeugt werden, die auf topographischen Karten basieren (NELSON ET AL. 2009). Allerdings handelt es sich dabei, im Vergleich zur Erzeugung aus anderen Quellen (z.B. LiDAR), um eine relativ ungenaue Methode der DGM-Erstellung (DEFOURNY ET AL. 1999). Die Qualität der Modellierung ist hierbei abhängig von der Genauigkeit der Datenaufnahme- und verarbeitung während der ursprünglichen Kartenerstellung. Insbesondere bei historischen, topographischen Karten wurden Höhenlinien häufig eher unter ästhetischen Gesichtspunkten eingezeichnet, als dass sie das präzise Ergebnis aus der Geländevermessung darstellen (HODGSON & ALEXANDER 1990). Die Interpolation eines DGMs aus Höhenlinien einer topographischen Karte kann in einem GIS mit Hilfe der gängigen Interpolationsmethoden (s. Kap. 5.2.4) automatisiert durchgeführt werden (JAMES ET AL. 2012). Für die vorliegende Auswertung wurde das in ArcGIS implementierte Tool „Topo to Raster“ angewendet, das speziell für Geländemodellerstellung aus Höhenlinien konzipiert wurde (ARCGIS 2019 B). Hierzu mussten die Höhenlinien zunächst manuell digitalisiert und ebenfalls manuell einzeln mit den entsprechenden Höhenwerten versehen werden.

Die so erstellten Shapefiles konnten dann mit dem ArcGIS 3D-Analyst-Tool „Topo to Raster“ zu einem hydrologisch korrekten digitalen Höhenmodell interpoliert werden. Dieses konnte wiederum zum Vergleich mit den Geländemodellen anderer Zeitscheiben herangezogen werden.

5.2.3 Auswahl der Daten aus den geologischen und archäologischen Quellen

Die wichtigste Grundlage für die eigentlichen Interpolationen der Geländeoberflächen stellen die beiden Hauptdatenquellen „geologische Bohrungen“ sowie „archäologische Dokumentationen“ dar (s. Kap. 5.1.1 und 5.1.2). Eine wesentliche Herausforderung bestand darin, aus dem Gesamtbestand der Quellen möglichst alle geeigneten Daten herauszufiltern, um eine möglichst große Datenbank an Werten zu erstellen. Gleichzeitig mussten alle ungeeigneten Daten im Vorfeld identifiziert und ausgeschlossen werden, um keine Verschlechterung der Interpolationsergebnisse zu riskieren. Im Folgenden werden die Kriterien beschrieben, nach denen die Auswahl der Daten erfolgte.

Auswahl der geologischen Bohrdaten

Aus den 22.049 Bohrdaten des gesamten Stadtgebiets wurden zunächst alle Daten innerhalb des definierten Untersuchungsgebietes (innerer und äußerer Aachener Kessel) separiert. Dies entsprach einer Restmenge von 13.921 Einträgen. Diese mussten dann jeweils einzeln auf eine Eignung für die Interpolation geprüft werden (s. Tab. 2). Die Daten wurden nach den folgenden Kriterien in die Datenbank übernommen:

- Räumliche Verortung der Bohrung möglich

Es musste eine Übereinstimmung zwischen dem Rechts- und Hochwert der Gauß-Krüger-Koordinaten, der Punkte und der Adresse, bzw. der Grundstücksbezeichnung der jeweiligen Bohrmaßnahmen bestehen. Wo diese Übereinstimmung nicht bestand, wurden die Daten nicht aufgenommen.

- Ausreichende Tiefe der Bohrung
Die Bohrungen mussten bis in den anstehenden Boden reichen. War dies nicht der Fall, wurden die Daten ebenfalls nicht aufgenommen.
- Ausreichende qualitative Auflösung der Stratigraphie
Es wurden nur Bohrdaten aufgenommen, bei denen die Beschreibung der einzelnen Lagen ausreichend genau war, um eine eindeutige Unterscheidung zwischen anthropogenen Schichten und dem anstehenden Boden vornehmen zu können. Hierbei musste die Beschreibung die Aufschüttung entweder explizit ausweisen, oder es musste durch zusätzliche Erläuterungen der Schichtzusammensetzung (Bestandteile von Beton, Ziegel, Holzkohle etc.) indirekt auf eine Kulturschicht zu schließen sein.

Tabelle 2: Gesamtzahl sowie aussortierte Datensätze der geologischen Datengrundlage

Gesamtheit der Bohrdaten im Untersuchungsgebiet	13.921
- Räumliche Verortung nicht möglich	292
- Keine ausreichende Tiefe erreicht	1.757
- Keine aussagekräftige Stratigraphie	878
Für die Interpolation herangezogene Punkte	<u>10.994</u>

Insgesamt konnten so 10.994 Punkte aus der geologischen Bohrdatenbank gewonnen werden.

Auswahl der archäologischen Dokumentationen

Die insgesamt 736 archäologischen Maßnahmen (Stand Juni 2018) innerhalb des Untersuchungsgebiets wurden zunächst einer Vorsortierung unterzogen. Dadurch ließ sich die relativ zeitaufwendige Auswertung der Akten begrenzen, da Dokumentationen, die aller Wahrscheinlichkeit keine nutzbaren Informationen enthielten, im Vorfeld ausgeschlossen werden konnten. Informationen für diese Vorsortierung finden sich zum einen bei KELLER (2004), wo sämtliche archäologischen Maßnahmen im Stadtgebiet bis zum Jahr 2001 nebst einer Kurzbeschreibung der selbigen aufgeführt sind.

Zum anderen erlaubt das GIS-basierte Denkmalinformationssystem „Bodeon“ (**B**odendenkmalpflege **D**enkmalpflege **O**nline) des LVR den Zugriff auf die digital vorliegenden Berichte der neueren Grabungsmaßnahmen. Sowohl die Angaben aus KELLER (2004), als auch die Sichtung der Grabungsberichte ermöglichte eine Einschätzung über die Eignung der Dokumentationen für eine tiefergehende Analyse. So konnten im Vorfeld bereits sämtliche Maßnahmen ausgeschlossen werden, bei denen kein Bodeneingriff stattgefunden hatte, wie z.B. (Boden)Denkmalaufnahmen. Auch reine Fund- und Notbergungen, bei denen keine stratigraphischen Dokumentationen erstellt worden waren konnten somit ausgeschlossen werden. Darüber hinaus waren vor allem für einige der älteren Maßnahmen keine weitergehenden Dokumente mehr vorhanden.

Mit dieser Vorauswahl konnten 511 archäologische Grabungsmaßnahmen separiert werden, die dann jeweils einzeln einer genaueren Analyse unterzogen wurden, um nach Möglichkeit Daten für die späteren Interpolationen zu gewinnen (s. Tab. 3). Für diese Analyse war es dann notwendig, sämtliche vorhandenen Dokumente der einzelnen Maßnahmen einzusehen. Vor allem die Profil- und Planumzeichnungen der Befunde, sowie Skizzen zur Einmessung der Grabungsfläche, enthielten wesentliche Angaben zu Lage und Art der Stratigraphie.

Kriterien für eine Aufnahme von Daten aus den Dokumentationen waren:

- Exakte Verortung der Befunde möglich
Sowohl die Koordinaten, als auch die Tiefe (i.d.R. angegeben in m ü. NN) der relevanten Schichten innerhalb der Stratigraphie musste nachvollziehbar sein.
- Zeitliche Einordnung der Befunde vorhanden
Die Dokumentation mussten möglichst detaillierte Informationen über das Alter der jeweiligen Schichten enthalten. Zum einen musste der anstehende Boden eindeutig als solcher beschrieben worden sein. Zum anderen mussten, falls vorhanden, die einzelnen Kulturschichten

möglichst präzise datiert worden sein. Zu allgemeine Angaben wie z.B. „Mittelalterliche Verfüllung“ konnten nicht verwendet werden.

- „In situ“-Lage der Befunde

Die relevanten Schichten durften nicht verlagert worden sein. Auch wurden keine sehr kleinräumigen Ablagerungen wie Graben- oder Brunnenverfüllungen mit aufgenommen. Unbrauchbar waren auch Schichten, die sich direkt unterhalb von Ausschachtungen wie Brunnenschächten oder Fundamentmauern befanden, da hier von einer nachträglichen Abtragung der Schicht ausgegangen werden muss und somit die Oberkante des Befundes nicht mehr sicher feststellbar ist.

Tabelle 3: Gesamtzahl sowie aussortierte Datensätze der archäologischen Datengrundlage.

Gesamtheit der Dokumentationen im Untersuchungsgebiet	736
Dokumentationen im U-Gebiet nach Vorauswahl	511
- Kriterien für Aufnahme nicht erfüllt	321
Für die Interpolation herangezogene Punkte	<u>190</u>

5.2.4 Raster Interpolation

Für die Erstellung der Paläotopographie musste aus den gewonnenen Punktdaten eine kontinuierliche Oberfläche gebildet werden. Eine kontinuierliche Oberflächendarstellung eines Raster-Datensatzes stellt die Höhenwerte (hier in Meter über Normalnull) an den aus den Quellen bestimmten Punkten dar und trifft darüber hinaus Vorhersagen für sämtliche Standorte für die keine Werte vorliegen (HAINING 2003). Das Gleiche gilt für die Darstellung der Aufschüttungsmächtigkeit.

Für diese Interpolationen gibt es verschiedene Methoden, deren jede ein Modell liefert, welches aufgrund einer jeweils unterschiedlichen Verarbeitung der Datengrundlage entstanden ist.

Nach CONOLLY & LAKE (2006) kann die Interpolation von Geländedaten im Wesentlichen durch zwei Methoden erfolgen:

- Bei den „lokal und global deterministischen“ Methoden werden die Vorhersagen auf Grundlage der bekannten Daten getroffen und entweder in eine lokal begrenzte Nachbarschaft dieser bekannten Punkte oder auf den gesamten Datensatz interpoliert. Hierbei verläuft die Oberfläche des Modells i.d.R. exakt durch die vorgegebenen Punkte. Die wichtigsten deterministischen Methoden umfassen IDW (Inverse Distance Weighting), Natural Neighbor, sowie die Trend- und Splineinterpolationen.
- Bei der „geostatistischen“ Methode werden Autokorrelationen, d.h. die statistischen Beziehungen zwischen den bekannten Punkten der Datengrundlage, in die Modellierung mit einbezogen. Dies erlaubt nicht nur die Erstellung einer Oberfläche aufgrund der gegebenen Werte, sondern auch eine Abschätzung über die Genauigkeit der Vorhersagekraft der Modellierung. Gegenüber anderen Methoden ist die geostatistische Interpolation deutlich komplexer und rechenaufwendiger. Die am weitesten verbreitete geostatistische Methode ist Kriging.

Grundsätzlich sind sowohl die deterministischen als auch die geostatistischen Methoden zur Interpolation der vorliegenden Geodaten geeignet. Allerdings ist die geostatistische, und hier vor allem die Kriging-Methode den deterministischen Methoden überlegen, sobald eine schwache räumliche positive Autokorrelation zwischen den Datenpunkten sowie eine ungleichmäßige Verteilung derselben besteht (CONOLLY & LAKE 2006).

Es war daher notwendig, neben der eigentlichen Rekonstruktion und Modellierung der Geländeoberfläche und der Aufschüttungen, auch die geeignetste Methode zu finden. Dies erfolgte zunächst durch die Anwendung verschiedener Interpolationsverfahren, sowie eines anschließenden Evaluierungsprozesses der einzelnen Methoden (s. Kap. 5.2.8 und 6.1).

Rekonstruktion der Paläotopographie

Die Rekonstruktion der Paläotopographie war eines der Hauptziele der vorliegenden Arbeit. Die Erstellung dieses vorrömischen Geländemodells erfolgte durch die Interpolation von Höhenpunkten, die auf Grundlage der geologischen und archäologischen Daten gewonnen wurden (s. Kap. 5.2.3.2).

Voraussetzung für die Anwendung der Interpolationsverfahren ist die Zusammenführung der Datengrundlage in eine gemeinsame Datenbank. Dazu wurden sowohl die geologischen Bohrpunkte, als auch die archäologischen Dokumentationen mit allen relevanten Informationen in eine Excel-Datei überführt. Diese Informationen waren zunächst die Koordinaten zur Verortung der Punkte, sowie alle relevanten Höheninformationen. Darüber hinaus wurde das Datum der Durchführung der Maßnahmen mit aufgenommen.

Die so erstellte Datenbank wurde dann durch ihre xyz-Werte in eine „Feature-Class“ umgewandelt, um mit ArcGIS weiterverarbeitet werden zu können.

Ausschlaggebend für die Rekonstruktion der Paläooberfläche sind die Höhenwerte der Oberkante des anstehenden Bodens. Insbesondere in der geologischen Datenquelle wurden diese Werte i.d.R. nicht direkt eingemessen, sondern als Tiefe ab der Geländeoberkante (GOK) angegeben. Diese GOK-Höhen aus den Quellen stimmen aber oftmals nicht mit den realen Geländehöhen überein (s. Kapitel 5.2.3.). Um eine Verfälschung der Höhenwerte des anstehenden Bodens durch fehlerhafte GOK-Werte zu vermeiden, wurden die GOK-Werte aus der Datengrundlage ersetzt durch die entsprechenden Werte an gleicher Stelle aus dem modernen DGM1. Hierzu wurde das ArcGIS-Tool „Extract Values to Points“ verwendet, mit dem die Höhenwerte direkt aus dem DGM1 in die Datenbank überführt werden können.

Aus den so gewonnenen GOK-Höhen wurden dann durch einfache Subtraktion der Tiefenwerte des anstehenden Bodens die entsprechenden Höhen ü. NN ermittelt.

Mit diesen Höhenwerten wurde dann die Paläotopographie modelliert. Die Rekonstruktion wurde mit dem ArcGIS „Interpolation-Toolset“ und dem „3D-

Analyst“ durchgeführt. Es wurden folgende drei Interpolationsverfahren angewendet:

- Inverse Distance Weigthing (IDW)
- Natural Neighbor
- Kriging

Das Ergebnis der Modellierungen ist jeweils ein Ausgabegeraster der Höhenwerte des anstehenden, ungestörten Bodens.

Das geeignetste Verfahren wurde dann durch Validierung der verschiedenen Modellierungen (s. Kap. 5.2.8) bestimmt.

Inverse Distanzwichtung

Die Inverse Distanzwichtung (IDW) ist ein relativ einfaches Interpolationsverfahren, das auf dem Prinzip der räumlichen Korrelation basiert (BURROUGH ET AL. 2015). Hierbei wird davon ausgegangen, dass jeder Messpunkt einen lokalen Einfluss hat, der mit steigender Entfernung zu diesem abnimmt. Somit werden Messpunkte die näher an der zu interpolierenden Stelle liegen stärker gewichtet als solche die weiter entfernt sind. Üblicherweise wird dabei nur eine begrenzte Anzahl an Messpunkten innerhalb eines definierten Radius für die Bestimmung der Werte herangezogen. Die Anwendbarkeit dieser Methode setzt voraus, dass die Variablen durch steigende Entfernung zu den bekannten Messpunkten tatsächlich immer weniger beeinflusst werden (ARCGIS 2019d). Vorteile der IDW liegen, bei ausreichend hoher Punktdichte, in der guten Darstellbarkeit von abrupten Wechseln der Hangneigung oder der Wölbung.

Darüber hinaus lässt sich das Ergebnis durch die Anpassung der Suchradien beeinflussen. Mit größerem Radius erreicht man eine größere Glättung des Ergebnisses. Werden hingegen nur Werte aus einem kleinen Radius herangezogen, kann der Einfluss weit entfernt liegender Messpunkte ausgeschlossen werden. Mit der IDW können keine Werte über den Maximal-

bzw. unter den Minimalwerten der Messpunkte interpoliert werden. Daher ist die Methode für sehr hügeliges Gelände weniger geeignet (BURROUGH ET AL. 2015).

Natural Neighbor

Die „Natural Neighbor“- auch „Voronoi“-Interpolation genannt (SIBSON 1981), ist wie die IDW ein gewichtetes Verfahren, bei dem um jeden bekannten Datenpunkt zunächst eine Polygonfläche konstruiert wird. Die Polygone werden durch ihre Entfernung zum Datenpunkt definiert. Alle Stellen innerhalb des Polygons liegen näher an dem ursprünglichen Datenpunkt als zu anderen Punkten und weisen auch den gleichen Wert wie dieser auf. Die eigentliche Interpolation für unbeprobte Stellen erfolgt dann durch die Erstellung eines neuen „Voronoi“-Polygons um die zu interpolierende Stelle. Der Wert für das neu erstellte Polygon wird gewichtet aus den Flächenanteilen der unter dem neuen Polygon liegenden ursprünglichen Polygone (ARCGIS 2019d, SIBSON 1981). Abbildung 15 zeigt am Beispiel von Höhenpunkten im Aachener Innenstadtbereich das Grundprinzip der „Natural Neighbor/Voronoi“-Interpolation.

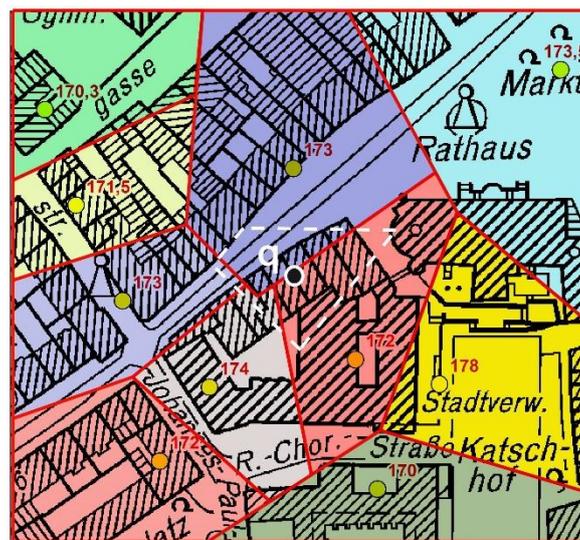


Abbildung 15: Grundprinzip der Natural Neighbor-Interpolation am Beispiel des Aachener Markthügels. Jedem Höhenmesspunkt wird eine Fläche zugeordnet. Am zu interpolierenden Punkt q wird ein neues Polygon aus den jeweiligen Flächenanteilen erzeugt.

Die Natural Neighbor-Methode ist vor allem für die Interpolation von Datensätzen geeignet, bei denen die Datenpunkte unregelmäßig verteilt sind. Ein wesentlicher Vorteil ist, dass es sich um ein relativ einfaches Universalverfahren handelt, bei dem man keine Parameter wie Gewichtungen und Entfernungen oder Anzahl der Nachbarpunkte spezifizieren muss (BOBACH 2008). Eine weitere Eigenschaft der Methode ist, dass die interpolierte Oberfläche an den bekannten Datenpunkten exakt durch diese verläuft. Somit können Maximal- bzw. Minimalwerte korrekt dargestellt werden. Dadurch ist die Methode aber auch anfälliger für Ausreißer in der Datengrundlage (WEBSTER & OLIVER 2007).

Kriging

Kriging ist ein komplexes geostatistisches Interpolationsverfahren, das, wie die IDW, ebenfalls auf dem Prinzip der Autokorrelation, d.h. dem Betrag der räumlichen Varianzänderung zwischen bekannten Datenpunkten, basiert. Bei der Kriging-Methode wird davon ausgegangen, dass eine räumliche Korrelation bezüglich der Entfernung oder Richtung zwischen den Datenpunkten besteht (CONOLLY & LAKE 2006). Mit dieser Korrelation können somit Variationen auf der Oberfläche erklärt werden.

Kriging ist ein mehrstufiger Prozess, bei dem zunächst ein Semivariogramm (kurz: Variogramm) erstellt wird, das den Einfluss der Entfernung auf die Beziehung zwischen den bekannten Punkten vorhersagt.

Abbildung 16 zeigt ein Variogramm mit seinen Komponenten.

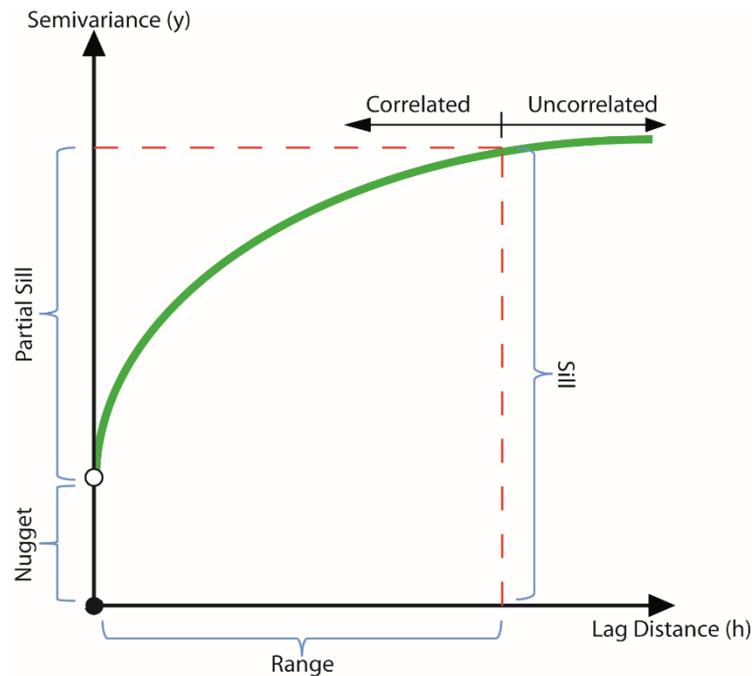


Abbildung 16: Beispiel eines Variogramms für ein exponentiales Modell.
 (Quelle: eigene Darstellung nach ArcGIS (2019c).

Bei der Erstellung eines Variogramms werden aus den Datenpunkten Paare in unterschiedlichen Entfernungsstufen (Lag) gebildet und mit verschiedenen Funktionen (z. B. kreisförmig, sphäroidisch, exponentiell oder nach Gauß) in einem Modell dargestellt (BURROUGH ET AL. 2015). Die „Range“ gibt an, in welcher Entfernung das Modell abflacht. Ab diesem Punkt liegt keine räumliche Korrelation der Punkte mehr vor. Analog dazu bezeichnet der „Partial Sill“ den Wert, bei dem das Variogramm die Abflachung erreicht. Der Wert, bei dem die Kurve die Y-Achse schneidet wird „Nugget“ genannt und beschreibt Messfehler und räumliche Schwankungen bei der Datenaufnahme (ARC GIS 2019c).

Nach der Erstellung des Variogramms erfolgt die Erstellung der eigentlichen Oberfläche. Grundsätzlich wird hierbei vor allem zwischen den zwei Kriging-Methoden „Ordinary“ und „Universal“ unterschieden: Ordinary-Kriging liefert die genauesten Ergebnisse, wenn das Gelände keine extremen Spitzen oder Senken bzw. starke Wechsel zwischen diesen beiden Extremformen aufweist. Universal-Kriging wird bevorzugt dann angewendet, wenn die Datengrundlage einen bekannten Trend aufweist, der mathematisch definiert werden kann und an den das Modell dann angepasst werden kann (ARC GIS 2019c; HAINING 2003).

Da dies bei der Datengrundlage der vorliegenden Arbeit nicht der Fall ist, wurde die Universal-Methode hier nicht berücksichtigt.

Eine Besonderheit des Kriging-Verfahrens besteht darin, im Verlauf des Kriging-Prozesses die Varianzoberfläche untersuchen zu können, d.h. eine Abschätzung über die Genauigkeit der Modellierung vornehmen zu können (HAINING 2003). Im vorliegenden Fall ergibt sich daraus die Möglichkeit, eine vorläufige Abschätzung und Visualisierung über die Gebiete zu erlangen, in denen die interpolierte Paläooberfläche eine hohe bzw. geringe Genauigkeit aufweist.

Die Kriging-Interpolation wird häufig eingesetzt, wenn die Verteilung der bekannten Datenpunkte unregelmäßig bzw. die Punktdichte gering ist. Sie liefert dabei theoretisch die genauesten Angaben an den Stellen, für die keine Messpunkte vorliegen. Darüber hinaus ermöglicht Kriging durch die Ausgabe des Schätzfehlers ein Vorhersagemodell, das mit anderen Interpolationsmethoden nicht möglich ist (CHILES & DELFINER 2012).

Bei der Extraktion der GOK-Werte aus dem DGM1 wurde der unbearbeitete Rasterdatensatz verwendet, um auch hier eine Verfälschung des Interpolationsergebnisses durch ein vorgefiltertes DGM zu vermeiden. Auch die erstellten Paläo-DGMs wurden zunächst keiner Filterung unterzogen.

Darstellung der anthropogenen Schichten

Neben der eigentlichen Paläotopographie war die Darstellung der sich hieraus ergebenden Mächtigkeit der anthropogenen Schichten Ziel der vorliegenden Arbeit.

Bei der Bestimmung der Aufschüttungen wurden zunächst zwei Ansätze parallel verfolgt. Durch die anschließende Evaluierung konnte dann die geeignetste Methode ausgewählt werden.

Der erste Ansatz beruht auf der Berechnung der Differenz zwischen der Paläooberfläche und der modernen Topographie (DGM1). Hierbei wurden die

beiden Rasterdatensätze einer einfachen Subtraktion unterzogen. Hierfür wurde das ArcGIS-Tool „Minus“ verwendet, das zellenweise die Werte des Paläo-DGM-Datensatzes von den Werten des DGM1 subtrahiert.

Beim zweiten Ansatz wurde vom Punkt in die Fläche interpoliert. Hierfür wurde das DGM1 nicht mehr herangezogen. Stattdessen wurden ausschließlich die Höhenwerte für die Oberkante des anstehenden Bodens aus der Datenbank verwendet, um aus diesen in das gesamte Untersuchungsgebiet zu interpolieren. Als Interpolationsmethode wurden wiederum nacheinander die drei Verfahren IDW, Natural Neighbor und Kriging angewendet.

Es war zu erwarten, dass sowohl die beiden verwendeten Ansätze, als auch die verschiedenen Interpolationsmethoden unterschiedliche Ergebnisse erzielen. Daher wurden sämtliche Ergebnisse der Aufschüttungsbestimmung einer Evaluierung unterzogen (s. Kap. 5.2.8).

Um den Unterschied zwischen dem Paläorelief und der rezenten Oberfläche besser visualisieren und interpretieren zu können, wurden neben der Aufschüttungskarte auch Profilschnitte angelegt. Diese zeigen gleichzeitig das Paläo-DGM, sowie das aktuelle DGM1. Erstellt wurden diese Profile mit dem ArcGIS-Tool „3D-Analyst (Interpolate Line)“. Die hierdurch aus den DGMs abgegriffenen Höhenpunkte wurden dann in SciLab XACT 7.2, einem Grafik- und Datenanalyse Programm, in eine überhöhte Profildarstellung überführt.

Teilweise wurden diese Profildarstellungen mit Adobe Illustrator CS4 um Text- oder Grafikelemente erweitert, um eine bessere räumliche Orientierung zu erreichen.

Volumenberechnung der Schichten

Neben der Bestimmung der Mächtigkeit der anthropogenen Schichten wurde auch deren Volumen bestimmt. Hierzu wurde mit dem ArcGIS-Tool „Cut/Fill“ eine Rasterberechnung durchgeführt, bei der die Volumenänderung zwischen zwei Oberflächen berechnet werden kann (ARC GIS 2019f). Zunächst wurden

Gebiete für die Volumenberechnung bestimmt. Hierbei handelt es sich um die historischen Zonen (s. Kap. 5.2.6), das Untersuchungsgebiet der 4D-Analyse, sowie die Bereiche die als Halden mit Trümmerschutt des 2. Weltkriegs definiert wurden (s. Kap. 6.6). Im Falle der 4D-Analyse wurde das Volumen zusätzlich über die einzelnen Zeitscheiben kumuliert, um den jeweiligen Zuwachs besser erfassen zu können. Als Grundlage für die Berechnung dienten die aus den Punktdaten rekonstruierten Geländeoberflächen, sowie die aus den Höhenlinien der topographischen Karte (s. Kap. 6.6) rekonstruierte Oberfläche. Für die rezente Oberfläche wurde wiederum das LiDAR-DGM1 herangezogen.

4D-Rekonstruktion

Eine der grundlegenden Fragestellung des vorliegenden Projekts war es, neben der vorrömischen Paläotopographie, die Oberfläche weiterer Zeitscheiben zu rekonstruieren. Damit sollte eine größere zeitliche Auflösung der anthropogenen Schichtpakete erreicht werden, um dann damit letztlich den Einfluss des Menschen auf die Topographie zeitlich besser fassen zu können.

Für die Rekonstruktion der einzelnen historischen Zeitscheiben wurde im Wesentlichen eine ähnliche Methodik angewendet wie für die Erstellung der Paläooberfläche.

Die Datengrundlage musste aber auf die archäologischen Grabungsdokumentationen beschränkt werden, da die geologischen Bohrdaten nur die anthropogene Schicht in ihrer Gesamtheit beschreiben und i.d.R. keine Informationen über deren Struktur oder gar stratigraphischen Aufbau enthalten. Durch die Beschränkung auf die archäologischen Daten konnte die 4D-Analyse nur auf einem Gebiet durchgeführt werden, für das gleichzeitig eine ausreichende Menge archäologischer Datenpunkte der verschiedenen Zeitscheiben vorlag. Somit war das 4D-Untersuchungsgebiet von vornherein auf den historischen Kernstadtbereich innerhalb der Mauerringe beschränkt.

Analog zur Auswertung der Datengrundlage für die Paläoreliefherstellung wurden die archäologischen Dokumentationen auf Informationen über ehemalige Gelände- bzw. Siedlungsoberflächen untersucht. Diese Informationen tauchen in den Dokumentationen oftmals als Beschreibungen von Laufhorizonten, Brandschichten, Straßenoberflächen oder explizit als ehemalige Geländeoberflächen auf. Wenn diese Beschreibungen dann noch eine hinreichend konkrete zeitliche Zuordnung sowie ausreichend genaue räumliche Informationen zur ihrer genauen Lage enthielten konnten die entsprechenden Dokumentationen als Datenpunkte aufgenommen werden.

Grundsätzlich wurden alle archäologischen Maßnahmen auf entsprechende Informationen über ehemalige Oberflächen hin untersucht. Dabei zeigte sich welche Zeitscheiben in ausreichender Anzahl dokumentiert waren, um daraus eine Oberfläche zu modellieren (s. Abb. 17).

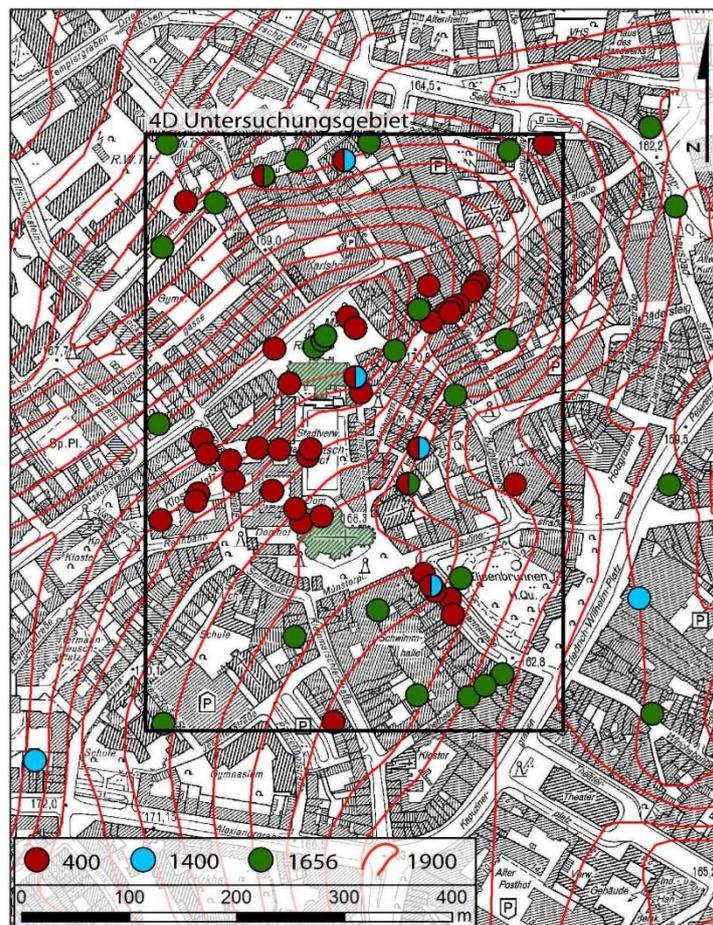


Abbildung 17: Die archäologischen Datenpunkte sowie das sich hieraus ergebende Untersuchungsgebiet für die 4D-Analyse.

An insgesamt 43 Stellen konnten Informationen über eine spätrömische Oberfläche gesammelt werden. Diese lag meist in Form eines Laufhorizonts aus spätrömischer Zeit vor. Teilweise wurde der Laufhorizont auch als frühmittelalterlich datiert, lag aber in allen Fällen direkt über dem römischen Schichtpaket. Somit bildet die aus diesen Daten resultierende Oberfläche den topographischen Zustand der Aachener Innenstadt zum Ende der römischen Besiedlung ab. Diese Oberfläche wird daher im Folgenden auch „Oberfläche 400 n. Chr.“ genannt, da spätestens im frühen 5. Jahrhundert n. Chr. das Gebiet von den Römern aufgegeben wurde (v. HAEHLING 2011).

Eine weitere Zeitscheibe, die im archäologischen Profil häufig als „Markerhorizont“ erscheint, ist der Stadtbrand im Jahr 1656 (s. Kap. 4.5). Dieser zeigt sich im archäologischen Profil häufig als Brandhorizont und wird meist auch als solcher beschrieben. Insgesamt konnten 28 Datenpunkte für diese Zeitscheibe gewonnen werden.

Einige weitere Grabungsdokumentationen enthielten Informationen über eine Oberfläche aus dem Übergang zwischen dem 14. und 15. Jahrhundert n. Chr. Aus diesen insgesamt nur sieben Datenpunkten ließ sich keine flächige Topographie erstellen. Da die Punkte aber in etwa auf einer Linie lagen, konnten sie für einen Profilschnitt quer über den Markthügel genutzt werden. Diese Oberfläche wird im Folgenden „Oberfläche 1400“ genannt.

Die in Kapitel 5.1.3 beschriebene topographische Karte aus dem Jahr 1939 enthielt Höhenlinien aus dem Jahr 1900, aus denen ein Geländemodell erstellt werden konnte (beschrieben in Kapitel 5.2.2). Diese Oberfläche stellt eine weitere Zeitscheibe dar und wird im Weiteren als „Oberfläche 1900“ oder „Oberfläche 1939“ bezeichnet.

Die rezente Oberfläche wird durch das aus LiDAR-Daten gewonnene DGM 1 (s. Kap. 5.1.4) repräsentiert.

Die Rekonstruktion der Oberflächen 400 n. Chr. sowie 1656 erfolgte analog zum Vorgehen für die Erstellung der Paläotopographie. Um die gesammelten Datenpunkte zu einer Fläche zu interpolieren, wurde die beschriebene und in

Kapitel 5.2.8 evaluierte Methode des Ordinary Kriging angewandt. Um die Unterschiede zwischen den DGMs der einzelnen Zeitscheiben besser sichtbar zu machen, wurden zum einen zusätzliche Höhenlinien im Abstand von einem Meter errechnet und dargestellt. Zum anderen wurde darauf geachtet, bei den Farbrampen für die Höhenwerte die gleichen Abstufungen zu verwenden.

Neben den eigentlichen DGMs wurde auch hier die Differenz, in diesem Fall der Zuwachs der anthropogenen Stratigraphie zwischen den Zeitscheiben, errechnet und dargestellt. Aufgrund der geringeren Datenpunktdichte wurde hierbei, anders als bei der Rekonstruktion der Gesamtaufschüttungen zwischen Paläotopographie und DGM1 keine Modellierung aus den punktuell vorliegenden Differenzwerten der einzelnen Datenpunkte vorgenommen. Stattdessen wurden die rekonstruierten Oberflächen der einzelnen Epochen durch das ArcGIS-Tool „Minus“ voneinander abgezogen, um somit die Differenz zu berechnen. Auch für diese Differenzdarstellungen wurden Isolinien mit einem Abstand von einem Meter erstellt, die zusammen mit einer einheitlichen Farbrampe den Schichtzuwachs visualisieren.

Um diese zeitliche Auflösung der anthropogenen Schichten noch besser zu verdeutlichen und die Schichtpakete der einzelnen Epochen gleichzeitig darstellen zu können, wurden auch hier Profile über das Untersuchungsgebiet gelegt. Die Höhendaten für diese Profile wurden, analog zum Vorgehen in Kapitel 5.2.8, mit dem ArcGIS 3D-Analyst aus den einzelnen rekonstruierten DGMs abgegriffen und mit „XACT“ zu einem überhöhten Schichtmodell kombiniert. Da sich das Untersuchungsgebiet für die 4D-Analyse über den Markthügel erstreckt, wurde ein Profil entlang der Längsachse des Hügels sowie ein weiteres Profil quer über den Hügel gelegt. Ein drittes Profil wurde ebenfalls etwa quer über den Hügel, aber entlang der Punkte der „Oberfläche 1400“ gelegt.

5.2.5 Gewässerrekonstruktion

Da sich der Gewässerverlauf maßgeblich nach der Topographie richtet und sich diese in den letzten 2000 Jahren im Stadtgebiet Aachens vor allem durch anthropogene Einwirkung verändert hat, wurde für die Rekonstruktion der ehemaligen Gewässerläufe die finale Version des vorrömischen Paläo-DGMs als Grundlage herangezogen.

Auf dieses DGM wurden verschiedene Werkzeuge aus dem ArcGIS Hydrology-Toolset angewendet. Dieses ist in der Lage Wasserläufe über eine vorgegebene Oberfläche, in diesem Fall dem Paläo-DGM, zu modellieren (ARCGIS 2019a). Für die Rekonstruktion der Aachener Fließgewässer wurde ein dreistufiger Prozess angewendet, an dessen Ende der ursprüngliche Verlauf der Aachener Bäche als Ergebnis visualisiert werden konnte (s. Abb. 18).

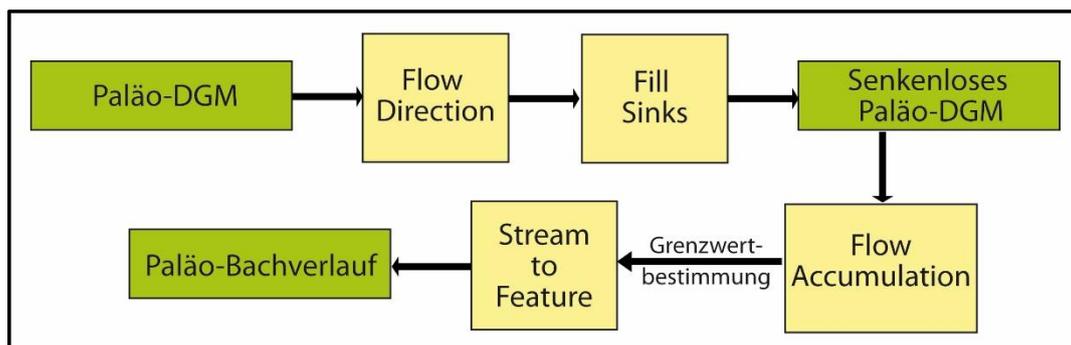


Abbildung 18: Ablaufschema des Prozesses der Gewässerrekonstruktion.

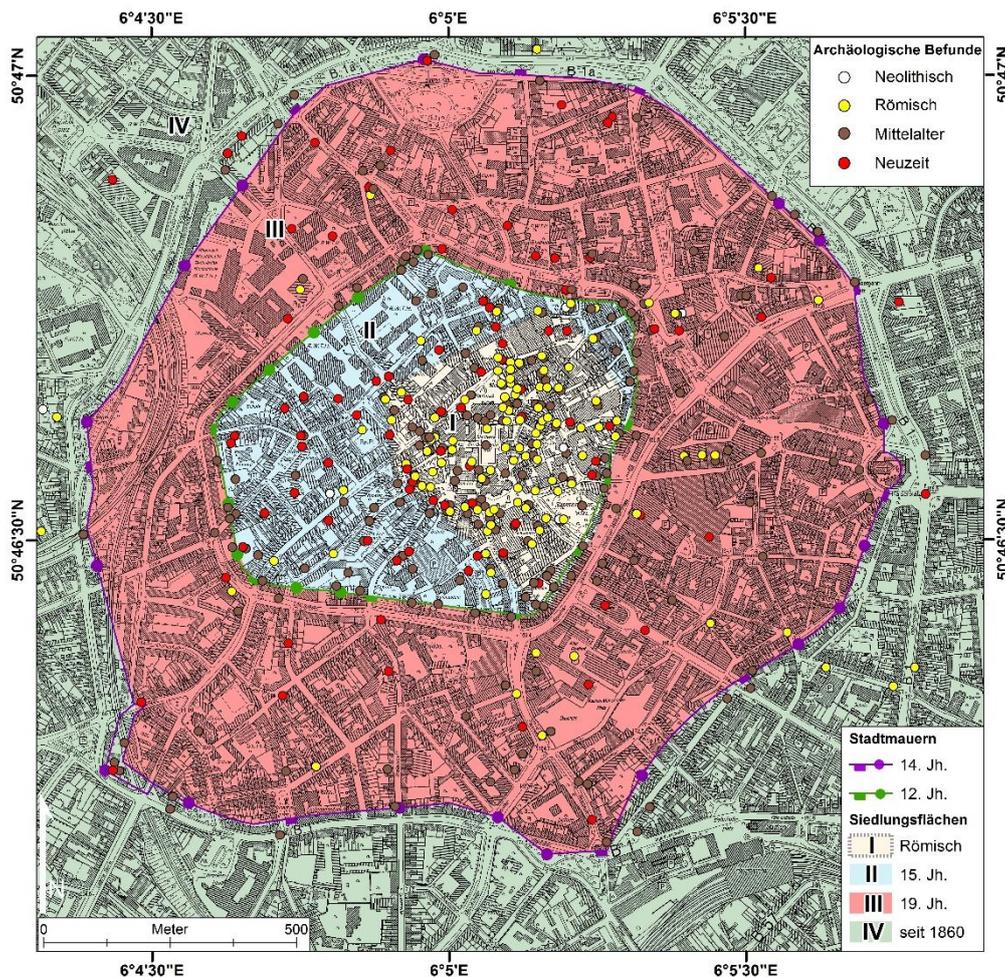
Zunächst wurde aus dem Paläo-DGM mit dem „Flow direction“-Tool ein Raster erstellt, auf dem die Fließrichtung jeder Zelle zu ihrer jeweiligen Nachbarzelle berechnet und dargestellt wurde. Dieser Rasterdatensatz diente als Grundlage für die anschließende Anwendung des „Fill“-Tools. In diesem Schritt werden alle Senken innerhalb des Ausgangs-DGMs identifiziert, aus denen kein Abfluss möglich ist. Anschließend werden diese „Senken“-Bereiche aufgefüllt, damit eine Oberfläche entsteht auf der ein kontinuierliches Entwässerungsnetz berechnet werden kann. Zuletzt werden mit dem Tool „Flow accumulation“ Flächen mit konzentriertem Abfluss und damit letztendlich die Wasserläufe, identifiziert (JENSON & DOMINGUE 1988). Durch das Festlegen eines Schwellenwertes nach TARBOTON ET AL. 1991, der nur Zellen ab einem bestimmten

Wert zulässt (in diesem Fall entspricht der Wert der Abflussakkumulation), konnte ein realistisches Gewässernetz rekonstruiert werden. Um eine bessere Visualisierung der Ergebnisse zu ermöglichen wurde der finale Rasterdatensatz dann in ein vektorbasiertes „Shapefile“ umgewandelt.

Für die Interpretation der Rekonstruktion wurden historische Karten, sowie Literatur hinzugezogen, auf denen die Gewässerverläufe der Aachener Bäche dargestellt oder beschrieben sind.

5.2.6 Ausweisung historischer Zonen

Um die Ergebnisse der Paläoreliefrekonstruktion bzw. der Visualisierung und Quantifizierung der anthropogenen Schichten beurteilen und sinnvoll interpretieren zu können wurde das Untersuchungsgebiet in verschiedene Zonen unterteilt. Die Separierung dieser Zonen richtete sich nach historischen bzw. archäologischen Gesichtspunkten. Die Zonen repräsentieren die geographische Ausdehnung verschiedener Phasen der Aachener Stadtentwicklung. Abbildung 19 zeigt die Einteilung des Untersuchungsgebiets in diese Zonen. Insgesamt wurden vier Zonen definiert.



**Abbildung 19: Historische Zonen im Aachener Innenstadtbereich.
Die Zonen dienen als Grundlage für die Volumenberechnungen.**

Zone I nimmt den östlichen Teil des Markthügels ein und umfasst die Ausdehnung der römischen Siedlung bis ins 5. Jh. n. Chr. (Kenntnisstand im Jahr 2018 nach SCHAUB (2019)). In dieser Zone liegen die meisten der im gesamten Stadtgebiet gefundenen römischen Fund- bzw. Befundstellen. Zone II deckt den Bereich innerhalb der Barbarossamauer (12. Jh.) ab, der nicht von der römischen Siedlungsfläche (Zone I) bedeckt ist. Es handelt sich dabei um den Hauptsiedlungsbereich während eines Großteils des Mittelalters, wenngleich einige mittelalterlichen Siedlungsareale entlang der Ausfallstraßen außerhalb dieser Zone liegen. In Zone II befinden sich ein Großteil der mittelalterlichen Funde und Befunde. Als Zone III wurde das Gebiet zwischen den beiden Stadtmauern definiert. Hierbei handelt es sich um eine Fläche, die im Laufe des Mittelalters nur teilweise bebaut wurde, wenngleich Gartenbau, Viehwirtschaft und eine landwirtschaftliche Nutzung sehr wahrscheinlich sind. Erst im 18.

Jahrhundert war das Areal dann vollständig bebaut (CURDES 1999; SCHREIBER 1981). Zone IV befindet sich außerhalb der zweiten Stadtmauer aus dem 14. Jahrhundert. Hierbei handelt es sich um eine Fläche mit ausschließlich neuzeitlicher bzw. moderner Prägung. Insbesondere der gründerzeitliche Stadtausbau des 19. und 20. Jahrhunderts fand in diesem Gebiet statt. Es liegen daher auch nur noch wenige der mittelalterlichen Funde und Befunde in diesem Bereich.

Weitere Unterteilungen des Untersuchungsgebiets wurden dann für den gesamten Bereich des Aachener Kessels vorgenommen. So wurden zum einen die bis kurz vor dem zweiten Weltkrieg noch bebauten Areale mithilfe einer Topographischen Karte aus dem Jahr 1939 separiert. Zum anderen wurden die gründerzeitlichen Wohnviertel kartiert, um sie separat mit den Aufschüttungen vergleichen zu können. Auch wurde die Siedlungsentwicklung innerhalb des Untersuchungsgebiets nach dem Zweiten Weltkrieg kartiert. Grundlage hierfür waren die Beschreibungen von SCHREIBER (1981) und CURDES (1999), sowie der Flächennutzungsplan der Stadt Aachen (STADT AACHEN 2014).

5.2.7 Rekonstruktion der „Flut von Aachen“

Für die Rekonstruktion der Überflutung des Aachener Innenstadtbereichs, die sich während der Belagerung Aachens durch Wilhelm von Holland im Jahre 1248 ereignete (s. Kap. 4.4), wurde die Arbeit von EVERS (2011) zugrunde gelegt. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen wurde im Wesentlichen die gleiche Methodik angewendet, um die Wasserstandhöhen, den Verlauf und das Volumen des Damms sowie das Volumen des aufgestauten Wassers zu bestimmen.

Im Gegensatz zu EVERS (2011) wurde für die Berechnungen allerdings das Paläorelief in seiner finalen Fassung verwendet. Im Folgenden wird die jeweilig angewandte Methodik näher erläutert.

Wasserstandhöhen

Für die Berechnung und Darstellung der überfluteten Bereiche wurden die historischen Beschreibungen von RHOEN (1894) herangezogen. In diesen wird die maximale Wasserstandhöhe beschrieben. Ein absoluter Wert (z.B. in m. Ü. NN) findet sich in den Quellen aber nicht. Es wurden daher die Höhenwerte an den von RHOEN (1894) beschriebenen Stellen aus dem Paläo-DGM abgegriffen. Auf Basis dieser Höhenwerte wurde das DGM dann in zwei Bereiche (oberhalb und unterhalb des maximalen Wasserstands) mit dem ArcGIS-Tool „reclassify“ reklassifiziert. Aus den sich hieraus ergebenden zwei Wertebereichen konnten diejenigen unterhalb des maximalen Wasserstands separiert und dargestellt werden. Hierdurch war es möglich, die überflutete Fläche der Beschreibung in der Datenquelle anzupassen und mit der von EVERS (2011) rekonstruierten Fläche (die nur ein aktuelles DGM10 zur Verfügung hatte) zu vergleichen.

Dammverlauf

Um den potentiellen Standort bzw. Verlauf des Dammes zu bestimmen wurde ebenfalls das Paläo-DGM zugrunde gelegt. Aus diesem wurden Querprofile des ursprünglichen Geländes an den von RHOEN (1894) und EVERS (2011) postulierten Dammstandorten erstellt. Damit war es möglich zu überprüfen, ob der in den Quellen beschriebene Verlauf durch die Geländesituation möglich (im Sinne der notwendigen Wasserstandhöhe) oder plausibel (im Sinne eines möglichst effizienten, materialsparenden Baues) war. Neben dem eigentlichen Geländemodell wurde auch die hieraus resultierende Rekonstruktion der ehemaligen Bachverläufe (s. Kap. 5.2.5) mit einbezogen, um den tiefsten Punkt des Geländes und damit die maximal notwendige Höhe des Dammes zu bestimmen.

Neben der Auswertung des digitalen Geländemodells wurden, im Rahmen der umfassenden Auswertung der archäologischen Dokumentationen und Quellen, diese auch im Hinblick auf Informationen auf eventuelle Reste eines Dammbauwerks untersucht.

Volumenermittlung des Damms

Die Ermittlung des Dammvolumens diente bei EVERS (2011) der Abschätzung der Bauzeit des Staudamms und der Abschätzung der Einstauzeit des aufgestauten Wassers (EVERS 2011). Beim Querprofil des Damms wird von einem trapezförmigen Querschnitt mit einer landseitigen Böschungsneigung von 1:1,5 und einer wasserseitigen Neigung von 1:2 ausgegangen (s. Abb. 20). Darüber hinaus wird eine Dammkrone von 2 m Breite angenommen. Diese Geometrie ergibt sich aus dem bekannten Wissen über Damm- und Deichbautechnik des Mittelalters (GOTTSCHALK 1985, KRAMER 1992, KÜHN 1992). Das Damm-Querprofil wurde über die einfache Gleichung zur Ermittlung des Flächeninhalts eines Trapezes berechnet:

$$A = \frac{1}{2} * (a + c) * h$$

(1)

Während c der feststehenden Breite der Dammkrone von 2 m entspricht, repräsentiert h die Höhe des Dammes. Anhand der Geländeprofile, die aus dem DGM gezogen wurden, war es möglich, die jeweilige Höhe des Dammes zu ermitteln. Da die Grundfläche a je nach Höhe des Dammes variieren kann, musste diese über Winkelfunktion des Tangens angepasst werden. Da von einem konstanten Neigungsverhältnis ausgegangen wird, sind auch die Böschungswinkel konstant. Der wasserseitigen Böschung wurde ein Winkel von 27° und der landseitigen Böschung ein Winkel von 34° zugeordnet. Dies führt zu der erweiterten Gleichung für die Fläche des Damm-Querprofils von:

$$A = \frac{1}{2} * \left[\left(\frac{h}{\tan(27)} \right) + \left(\frac{h}{\tan(34)} \right) + 4 \right] * h$$

(2)

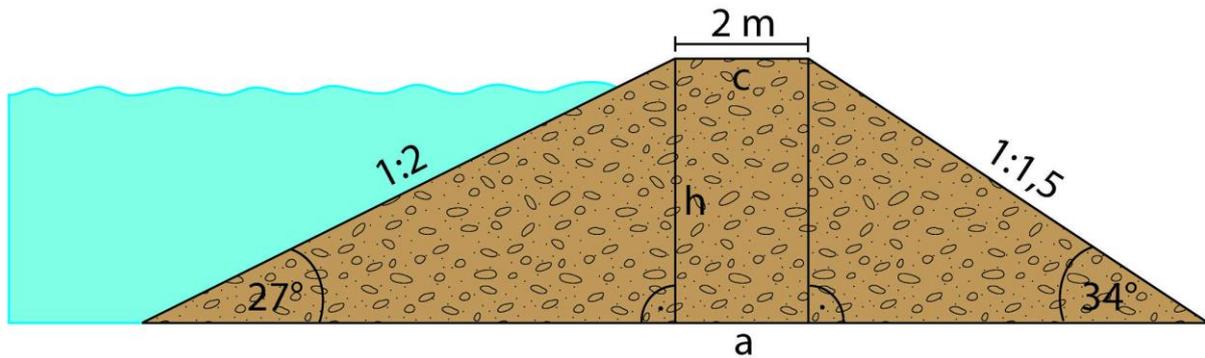


Abbildung 20: Geometrie des Staudamms. Die Breite der Dammkrone c sowie die Böschungsneigung (und damit auch der Winkel), werden als konstant über den gesamten Dammverlauf angenommen. Die Breite der Basis a ist abhängig von der sich je nach Geländesituation ändernder

Da weder der exakte Verlauf des Staudamms noch seine genauen baulichen Abmessungen bekannt sind, kann auch die Berechnung seines Volumens nur eine grobe Abschätzung sein. Für die Berechnung des Volumens wurde die Rastergröße des verwendeten Paläo-DGMs zugrunde gelegt. Das DGM weist eine Rastergröße von 7,6 m auf. Daher wurden die Höhenwerte in diesem Abstand aus dem DGM extrahiert und jeweils für eine Querprofilberechnung nach Gleichung 2 herangezogen. Für das Volumen wurden die so berechneten Flächen jeweils mit der Rasterbreite 7,6 m multipliziert und dann zu einem Gesamtvolumen des Damms addiert.

Das Volumen des Damms bestimmt auch seine Bauzeit. Ausgehend von Beschreibungen der mittelalterlichen Deichbautechnik von KRAMER 1992, geht EVERS (2011) von einer täglichen Bauleistung von 5m^3 pro Arbeitskraft aus. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurde dieser Wert für die Berechnung der Damm-Bauzeit übernommen.

Volumen und Einstaudauer des rückgestauten Wassers

Um eine Berechnung der Einstaudauer vornehmen zu können, musste die Menge des Wassers bei vollem Einstau des Damms bestimmt werden. Dies wurde mit dem ArcGIS-Tool „Surface Volume“ durchgeführt (ARC GIS 2019e), das neben der Fläche auch das Volumen zwischen einer DGM-Oberfläche

(hier wurde wieder das Paläo-DGM verwendet) und einer Referenzebene (der maximale Wasserstand) berechnet.

Für die Berechnung des Aufstauzeitraums wurde von EVERS (2011) das Niederschlags-Abflussmodell GR4J verwendet (EVERS 2011). Hierbei handelt es sich um ein „soil moisture accounting“-Modell mit veränderbaren Parametern (PERRIN ET AL. 2003). Diese Parameter sind vor allem der Niederschlag und die Evapotranspiration im Einzugsgebiet von Johannis- und Paubach. Darüber hinaus wurde der Abfluss der beiden Bäche gemessen. Niederschlag, Verdunstung und Abfluss wurden an Messstellen im Innenstadtbereich ermittelt. Das Einzugsgebiet wurde aus einer mit dem Werkzeug „Watershed“ in ArcGIS, mithilfe eines DGM10 erstellt (EVERS 2011). Berücksichtigt wurde darüber hinaus, dass die Belagerung von Aachen 1248 während des „Mittelalterlichen Klimaoptimums“ stattfand (GLASER 2013). Es wurden daher für die Niederschläge und die Evaporationsrate drei unterschiedliche Szenarien (feuchte, trockene und durchschnittliche Periode) mit Niederschlägen zwischen 660 mm und 1.010 mm berechnet (EVERS 2011).

Das primäre Ziel war es, das Paläo-DGM für die Rekonstruktion bzw. die Neubewertung der „Flut von Aachen“ heranzuziehen. Daher wurden die Ergebnisse der GR4J-Abflussmodellierung von EVERS (2011) übernommen, um eine Änderung von zu vielen Parametern zu vermeiden und eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Diese Ergebnisse wurden dann mit dem Neuberechneten Volumen des eingestauten Wasser kombiniert und eine neue Einstaudauer berechnet.

5.2.8. Validierung der Modellierung

Neben der eigentlichen Erstellung der Paläooberflächen sowie der anthropogenen Aufschüttungen, sollten diese im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch einer Evaluierung unterzogen werden. Hierdurch wird eine Abschätzung der Genauigkeit und damit der Vorhersagekraft der Modellierung ermöglicht.

Grundsätzliche Überlegungen und Prämissen

Bei der Rekonstruktion der urbanen Paläotopographie besteht das grundlegende Problem, dass sich diese Oberfläche einer direkten Kontrolle entzieht. Durch die großflächige Versiegelung des städtischen Gebiets ist es äußerst schwierig, die Ergebnisse der Interpolation vor Ort direkt z.B. durch Probebohrungen großflächig zu überprüfen. Komplexe Eigentumsverhältnisse sowie die städtischen Versorgungsleitungen (Abwasser, Strom, Gas etc.) würden eigene Bohrmaßnahmen darüber hinaus äußerst zeitaufwendig machen. Nichtsdestotrotz stellt die direkte Beprobung die einzige Möglichkeit dar, die Modellierungsergebnisse eindeutig zu überprüfen.

Bei der Evaluierung wurde daher ein mehrstufiges Verfahren angewandt, bei dem sowohl die primäre Datengrundlage (archäologische und geologische Daten), als auch die daraus resultierenden Interpolationen berücksichtigt wurden.

Die für die Modellierung relevanten Bestandteile der archäologischen und geologischen Datengrundlage sind folgende drei:

1. **Koordinaten** der Maßnahmen. Diese ermöglichen die exakte Verortung des Ansatzpunktes der Bohrung oder Grabung. Bei den geologischen Daten bezeichnet jede Koordinate einen Bohrpunkt. Bei den archäologischen Dokumentationen werden häufig nur die Start- und Endpunkte von Profilen mit Koordinaten versehen, aus denen sich aber auf den Befundzeichnungen die Werte an jeder beliebigen Stelle ableiten lassen. Grundsätzlich können die Koordinaten tachymetrisch eingemessen oder aus Karten abgelesen werden. Seit jüngerer Vergangenheit kann hierfür auch ein GPS verwendet werden. Die Koordinaten der beiden Datengrundlagen sind im Gauß-Krüger-Koordinatensystem als Rechts- und Hochwert angegeben.
2. Angaben zur **Geländeoberkante (GOK)**. Aus dieser ergibt sich der Ansatzpunkt, von dem aus die Bohrungen bzw. Grabungen durchgeführt wurden. Entsprechend ist die GOK der Bezugswert, ab dem die

Eingriffstiefen gemessen werden. Auch die GOK-Werte können entweder tachymetrisch, per GPS eingemessen oder aus einer Karte abgelesen werden. Die Höhenwerte werden grundsätzlich in „Höhe ü. NN“ angegeben.

3. **Tiefenwerte** der Schichten bzw. Horizonte. Diese geben in der vorliegenden Arbeit die Lagen der einzelnen Paläooberflächen an. Bei den geologischen Daten ist dies i.d.R. ausschließlich der anstehende Boden, bei den archäologischen Daten können das zusätzlich noch die weiteren Zeitscheiben sein. Die Tiefenwerte werden i.d.R. mit einem Zollstock immer ab der GOK gemessen.

Diese drei Bestandteile stellen die Grundlage für die Interpolationen dar und haben damit einen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse. Somit ist eine möglichst hohe Genauigkeit dieser Daten(bestandteile) Voraussetzung für ein möglichst gutes Modellierungsergebnis.

Die Datengrundlagen selbst liefern leider keinerlei Informationen über die Qualität und Genauigkeit der aufgenommenen Werte. Auch die Art und Weise der Datengewinnung (Tachymeter, GPS, Karte etc.) ist oftmals nicht näher spezifiziert. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass Fehler bei den drei genannten Werten unabhängig voneinander auftreten können.

Mögliche Fehler sind zum einen Fehlbedienungen bei der Aufnahme der Daten. So kann es bei der Handhabung der Tachymeter oder der GPS-Geräte zu Bedienungsfehlern kommen, die dann in falschen Koordinaten oder Höhenwerten der GOK resultieren. Insbesondere die Höhenbestimmung mittels einfachem GPS kann zu deutlichen Messfehlern führen. Zum anderen besteht vor allem bei der Bestimmung der Tiefenwerte die Gefahr einer Fehlinterpretation der Stratigraphie durch die aufnehmende Person. Darüber hinaus kann bei Rammkernbohrungen ein teilweiser Kernverlust oder ein Nachsacken des Bohrkerns zu fehlerhaften Tiefenmessungen führen.

Ein erster Schritt zur Vermeidung der Übernahme fehlerhafter Daten in die Modellierung erfolgte bereits während der Auswahl der Daten (s. Kap. 5.2.3). Dabei konnten eindeutig als fehlerhaft oder unvollständig erkennbare Datensätze aussortiert werden. Für alle in den endgültigen Datensatz übernommenen Punkte wurde ein mehrteiliges Evaluierungsverfahren angewendet.

Hierbei wurden zunächst die Werte der GOK mit dem aktuellen DGM1 verglichen. Dann wurde in einem iterativen Prozess der Einfluss der Punktdichte auf die verschiedenen Interpolationsmethoden untersucht. Durch eine Kreuzevaluierung wurde die Qualität der Interpolationen geprüft. Zuletzt wurden die rekonstruierten Paläooberflächen punktuell anhand selbst beobachteter archäologischer Grabungen, sowie Rammkernbohrungen überprüft. In den folgenden Kapiteln wird dieses Evaluierungsverfahren näher erläutert.

Überprüfung der Koordinaten

Ein Großteil der Koordinaten aus der Datengrundlage, die den genauen Standort der Bohrung bzw. Grabung kennzeichnen, wurde aus der Deutschen Grundkarte abgelesen. Hierbei kann es naturgemäß leicht zu Ablesefehlern kommen. Auch bei einer geodätischen Einmessung der Standorte können Bedienungs- oder Messfehler zu falschen Koordinaten führen.

Eine direkte Überprüfung der in der Datengrundlage aufgenommenen Koordinaten ist leider nicht möglich, da verifizierbare Vergleichswerte fehlen. Allerdings beinhalten die meisten Datensätze die Adressen oder Gemarkungen, auf denen die Maßnahmen vorgenommen wurden. Um hier vollständig falsche Angaben auszuschließen, wurde daher ein Abgleich dieser Adressdaten mit den Koordinatenwerten vorgenommen. Datensätze bei denen die Koordinaten nicht innerhalb der angegebenen Adressen bzw. Grundstücke lagen, wurden aussortiert und nicht verwendet. Insgesamt mussten auf diese Weise 22 Datensätze aussortiert werden.

Evaluierung der GOK-Werte

Unter den beschriebenen drei Datenbestandteilen (Koordinaten, GOK, Tiefenwerte), stellen die Werte der Geländeoberkante die einzigen, direkt und flächendeckend überprüfbareren Werte der Datengrundlage dar. Es erfolgte daher ein Vergleich der GOK-Werte aus der Datengrundlage mit dem aktuellen LiDAR-DGM1.

Grundannahme dabei ist, dass die Topographie zum Zeitpunkt der Datenerhebungen annähernd mit der Oberfläche aus dem LiDAR-Datensatz übereinstimmt. Da durch Baumaßnahmen etc. mit einer ständigen Änderung der Topographie zu rechnen ist, ist diese Annahme natürlich problematisch. Insbesondere während und kurz nach dem Zweiten Weltkrieg kam es zu einer Verlagerung von Trümmerschutt und dadurch zu mitunter deutlichen Eingriffen in die Topographie (s. Kap. 6.6). Da der überwiegende Teil der verwendeten Daten aber aus Maßnahmen nach dem Krieg stammen (ca. 60% sogar nach 1990) (s. Abb. 21), wird hier von einer vernachlässigbaren Änderung des Reliefs ausgegangen.

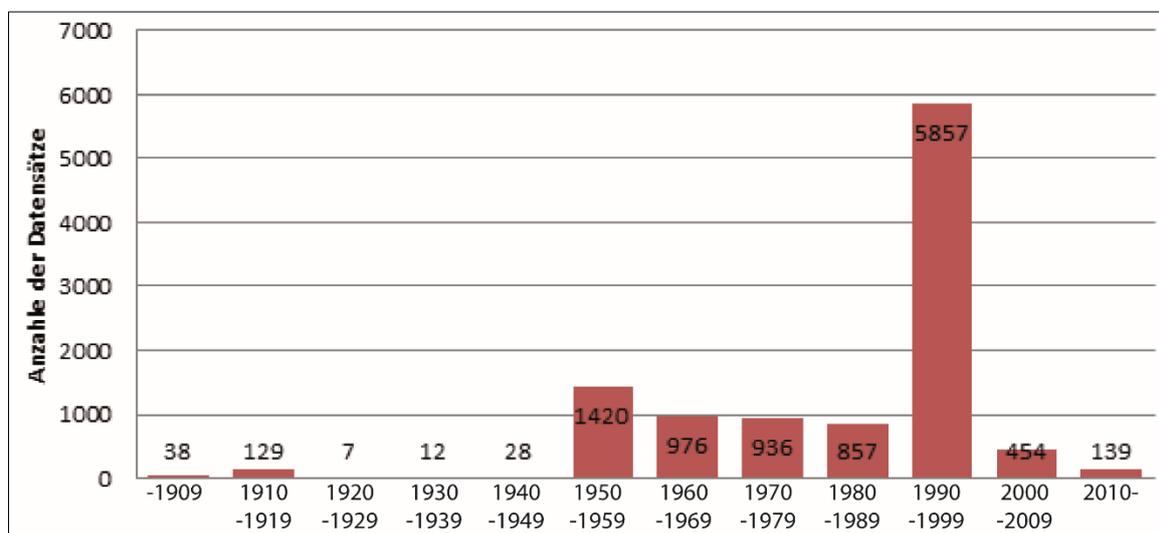


Abbildung 21: Zeitliche Verteilung der Entstehung der geologischen Datensätze.

Für die Überprüfung der GOK-Werte wurde mit Hilfe des ArcGIS-Tools „Extract Values to Points“ für jeden Datenpunkt der entsprechende Höhenwert aus dem aktuellen LiDAR-DGM1 bestimmt. Diese Werte wurden dann mit den

Höhenwerten aus den Originaldaten verglichen, indem die Differenz zwischen den beiden Werten ermittelt wurde.

Aus diesen Differenzwerten wurde dann das arithmetische Mittel gebildet. Dieses wurde zunächst einzeln für die beiden Datenquellen „Geologie“ und „Archäologie“ ermittelt. Dann wurden einzelne Parameter aus der Datengrundlage isoliert und für jeden dieser Parameter der Mittelwert berechnet. Diese Parameter konnten vor allem aus den geologischen, aber teilweise auch aus den archäologischen Grabungsdokumentationen bestimmt werden. Tabelle 4 zeigt die für die Evaluierung herangezogenen Parameter.

Tabelle 4: Parameter der geologischen Daten, die für die Evaluierung herangezogen wurden. Die Zahlen geben die Anzahl der jeweils untersuchten Datensätze an.

1	Zweck	Zweck der Bohrung	<ul style="list-style-type: none"> • Alllastenerkundung (1.766) • Bodenuntersuchung (359) • Gefährdungseinschätzung (1.859) • Ingenieurgeologische Untersuchung (1.444) • Orientierende Bodenuntersuchung (394) • Sanierungsuntersuchung (423)
2	KoFindung	Art der Koordinatenbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> • Geodätisch eingemessen (63) • Aus Deutscher Grundkarte bestimmt (6.710) • Aus Bodenkarte/Lageplan bestimmt (157)
3	HoFindung	Art der GOK-Höhenbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> • Geodätisch eingemessen (180) • Aus Bodenkarte/Lageplan bestimmt (920) • Aus ASTER DGM 30 bestimmt (3.539)
4	ArvTyp	Art der Bohrung	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrung allgemein (967) • Grundwassermessstelle (524) • Bodenluftmessstelle (257) • Kleinbohrung (4.994)

Ziel der Aufschlüsselung der Datengrundlage in diese Parameter war es herauszufinden, ob einer oder mehrere der Parameter einen Einfluss auf die Abweichung der GOK-Werte haben. Zu diesem Zweck wurde neben der Mittelwertbestimmung auch eine lineare Korrelation zwischen den Parametern und der Höhenabweichung gebildet. Allerdings konnten, sowohl für die Berechnung des Mittelwerts als auch für die Korrelationsanalyse, nicht alle

Werte herangezogen werden. Einige der geologischen und archäologischen Daten wiesen gar keine GOK-Werte auf, sondern nur Tiefenwerte „ab GOK“. Auch umfasste nur eine geringe Anzahl der Datensätze Informationen zu allen fünf Parametern gleichzeitig.

Evaluierung der Modellierungen

Für die Evaluierung sowohl der modellierten Paläotopographie, als auch der anthropogenen Schichten, wurde die „leave-one-out“-Methode (LOO-CV) angewendet. Hierbei handelt es sich um eine Variante des Kreuzvalidierungsverfahrens, bei dem jeweils ein Datenpunkt aus der Modellierung entfernt wird, um diesen dann mit Hilfe der verbleibenden Punkte vorherzusagen (DAVIS 1987). Dies führt zu den Residuen, aus denen dann sowohl die durchschnittliche Abweichung, als auch der Root Mean Square Error (RMSE) errechnet werden kann. Die Besonderheit der LOO-CV liegt darin, dass pro Evaluierungsverfahren sämtliche Datenpunkte je einmal entfernt, vorhergesagt und damit evaluiert werden (DAVID 1976; WITTEN & FRANK 2001). Durch die Anwendung dieses Verfahrens lassen sich somit das Verhalten und die Qualität verschiedener Interpolationsmethoden miteinander vergleichen.

Die LOO-CV wurde sowohl für die Interpolation der Paläotopographie, als auch für die der anthropogenen Schichten angewendet, wobei jeweils mehrere der in Kapitel 5.2.4 beschriebenen Interpolationsmethoden getestet wurden.

Nach der Bestimmung einer geeigneten Interpolationsmethode wurde untersucht, wie sich die Datenmenge auf die Genauigkeit des Modells auswirkt. Hierzu wurden in einem iterativen Prozess per Zufallsgenerator mehrere Punkte aus der Datengrundlage entfernt. Mit den verbliebenen Punkten wurde dann die Modellierung durchgeführt, mit welcher schließlich die Residuen zu den vorher entfernten Punkten bestimmt wurden. Dieser Vorgang wurde durch schrittweise Zugabe von immer mehr Punkten in mehreren Phasen wiederholt.

Evaluierung der Tiefenwerte

Bei der Evaluierung der Tiefenwerte bestand ebenfalls, wie bei den Koordinatenangaben, das Problem, dass flächendeckend keine überprüfbareren Vergleichswerte vorlagen. Insbesondere da die meisten Bohrungen und Grabungen im Vorfeld von Baumaßnahmen stattfanden, sind diese Standorte heute größtenteils überbaut und für eine Überprüfung nicht mehr zugänglich.

Allerdings bilden die Tiefenwerte die direkte Grundlage, auf deren Basis die Paläooberflächen modelliert wurden. Daher ist es unumgänglich, eine Überprüfung derselben vorzunehmen.

Grundsätzlich bieten sich hierfür geophysikalische Methoden wie Bodenradar oder Geoelektrik an. Vor allem Bodenradar kann prinzipiell dazu genutzt werden, um ungestörten Boden von darüber befindlichen Horizonten zu unterscheiden (HEINZE ET AL. 2017). In urbanen und seit Jahrtausenden besiedelten Räumen sind diese Methoden aber, aufgrund der oftmals komplexen Stratigraphie des Untergrunds sowie störender Strukturen wie Versorgungsleitungen, Abwasserrohren oder alten Gebäude- bzw. Fundamentüberresten, extrem störungsanfällig (RAPP & HILL 2005). Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden in der Vergangenheit der Bereich des Marktes und des Katschhofs mit Bodenradar untersucht (GROTEN 2010). Hierbei konnten zwar archäologische Strukturen erkannt, aber keine stratigraphische Differenzierung vorgenommen werden.

In der vorliegenden Arbeit konnten die Tiefenwerte aus den Datengrundlagen daher nicht direkt überprüft werden, sondern nur indirekt über die durchgeführte Paläooberflächen-Modellierung. Hierzu wurden zunächst Bohrungen bzw. Grabungen herangezogen, die zum einen entweder selbst durchgeführt oder zumindest selbst in Augenschein genommen werden konnten, und zum anderen noch nicht in die Modellierung aufgenommen wurden. Das heißt die selbst beobachteten Maßnahmen mit den entsprechend aufgenommenen Tiefenwerten wurden mit der bis dato aktuellsten Version der rekonstruierten Paläooberfläche verglichen.

Strenggenommen handelt es sich hierbei also um eine Evaluierung der modellierten Oberfläche. Der Unterschied besteht allerdings darin, dass die Datenaufnahme selbst durchgeführt und damit kontrolliert werden konnte. Als Referenzoberfläche wurde die Paläooberfläche des anstehenden Bodens herangezogen, da hierfür die mit Abstand meisten und am sichersten zu bestimmenden Werte vorhanden waren.

Im Laufe der Bearbeitungszeit des vorliegenden Projekts ergab sich an einigen Stellen im Stadtgebiet die Möglichkeit, selbst an archäologischen Grabungen teilzunehmen, die eine ausreichende Eingriffstiefe bis in den anstehenden Boden aufwiesen. Insgesamt konnten vier solcher Grabungen begleitet werden (s. Abb. 22). Die geringe Anzahl ergibt sich aus der Tatsache, dass trotz reger Grabungstätigkeit im Aachener Innenstadtbereich die Eingriffstiefen nur gering waren (z.B. bei Kanalarbeiten oder Leitungstrassen) oder die anthropogenen Schichten so mächtig waren, dass der ungestörte Boden dadurch nicht erreicht wurde.

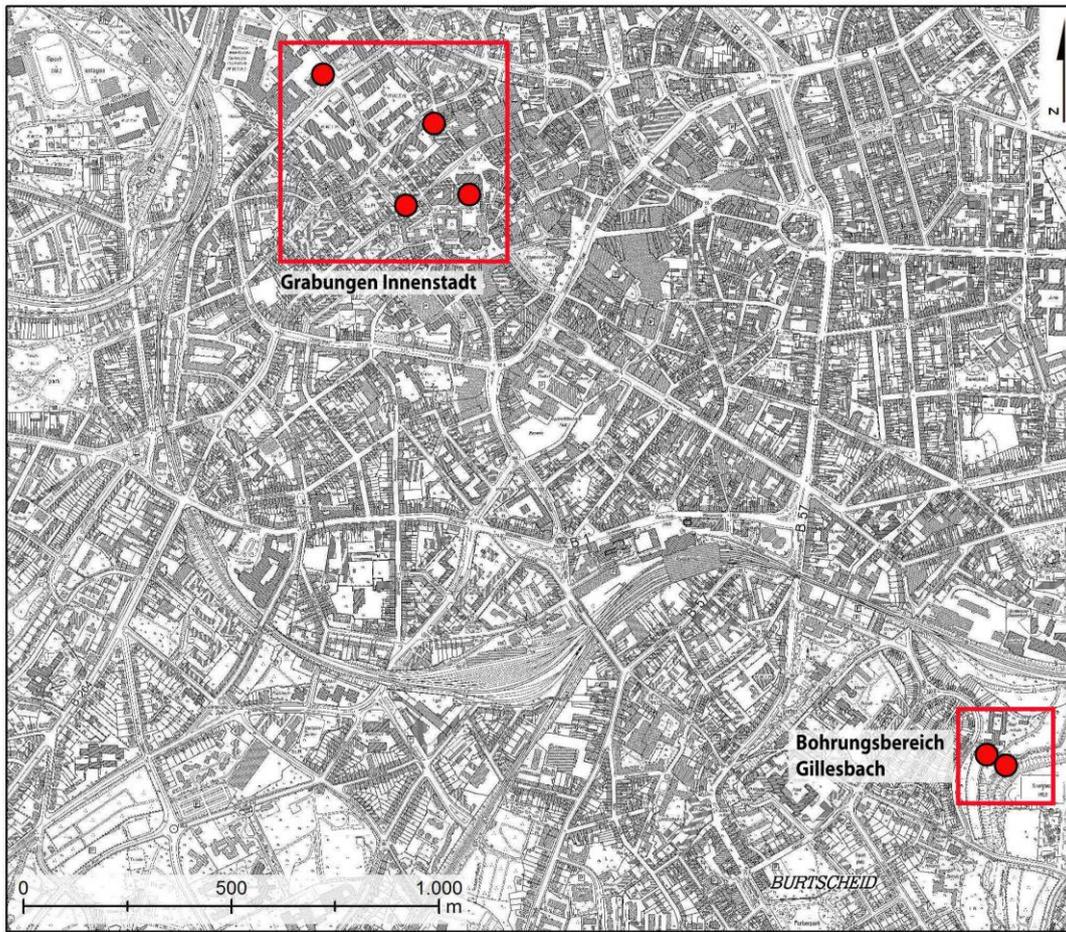


Abbildung 22: Standorte an denen Werte für die Tiefenevaluierung gewonnen werden konnten. Für die Detailausschnitte siehe Abb. 27.

Neben den archäologischen Begleitungen wurden auch eigene Rammkernbohrungen im Untersuchungsgebiet vorgenommen. Aufgrund bereits beschriebener Probleme konnten diese nicht im bebauten Innenstadtbereich durchgeführt werden.

Stattdessen wurde ein Bereich des Gillesbachs untersucht, in dem größere anthropogene Aufschüttungen vermutet wurden (s. Abb. 22). Bei den Bohrungen wurde mit Hilfe eines „Wacker“ Benzinhammers eine Ein-Meter-Sonde eingerammt, die dann jeweils um einen weiteren Meter verlängert wurde, bis der anstehenden Boden erreicht war. Es wurde mit einer „offenen“ Sonde, d.h. ohne „Liner“ gearbeitet. Insgesamt wurden sieben Bohrungen angesetzt von denen bei zwei der anstehende Boden erreicht werden konnte.

6 Ergebnisse

6.1 Evaluierung

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht die Rekonstruktion der Paläotopographie, sowie der Mächtigkeit der anthropogenen Schichten des Aachener Kessels. Um eine Abschätzung über die Genauigkeit dieser Rekonstruktionen vornehmen zu können, wurden sowohl die zugrundeliegenden Daten, als auch die Modellierungen selbst einer Überprüfung unterzogen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der in Kapitel 5.2.8 beschriebenen Evaluierungsschritte vorgestellt.

6.1.1 GOK-Werte

Da die Höhenangaben der Geländeoberkante die einzigen Werte sind, die direkt überprüft werden können (s. Kap. 5.2.8), wurden alle Datensätze die gemäß den Vorgaben (s. Kap. 5.2.3) aufgenommen wurden, mit dem aktuellen DGM1 abgeglichen (s. Kap. 5.2.8 für das Vorgehen).

Abbildung 23 zeigt die Abweichung der GOK-Werte vom DGM1, getrennt nach der geologischen sowie der archäologischen Datengrundlage für den historischen Innenstadtbereich mit insgesamt 1.437 Datensätzen.

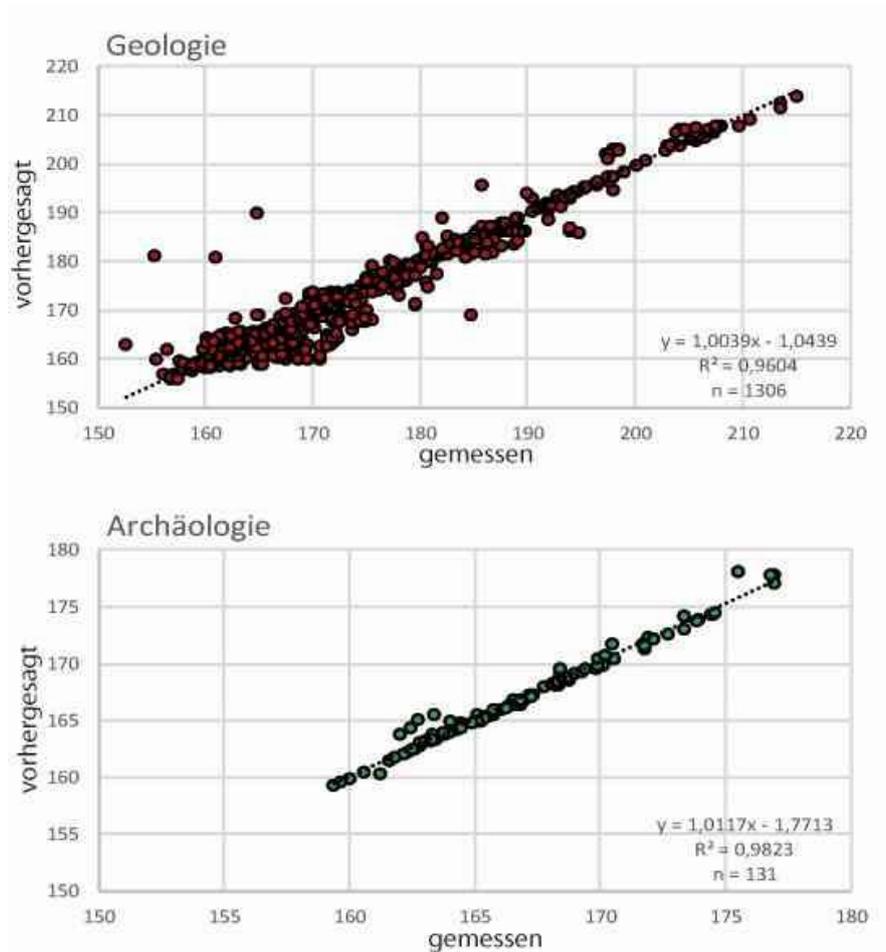


Abbildung 23: Abweichung der GOK-Werte aus den Datengrundlagen (Geologie und Archäologie) vom DGM1.

Die Abbildung zeigt zunächst das Zahlenverhältnis zwischen den geologischen (1.306) und den archäologischen Daten (131). Darüber hinaus zeigt das Bestimmtheitsmaß R^2 der linearen Regressionen, dass die archäologischen Daten mit $R^2=0,98$ eine geringfügig bessere Anpassung an die Regressionsgerade aufweisen als die geologischen Daten mit $R^2=0,96$.

Tabelle 5 zeigt zusätzlich die durchschnittliche Abweichung der Daten in Meter, sowie den RMSE (Root-mean-squared error).

Tabelle 5: Durchschnittliche Abweichung (in m) sowie R^2 und RMSE der beiden Datenquellen.

	Ø Differenz	R^2	RMSE
Geologische Bohrdaten	0,4	0,96	0,65
Archäologische Dokumentationen	0,3	0,98	0,55

Sowohl die durchschnittliche Abweichung als auch der RMSE zeigen bei den archäologischen Daten eine geringere Abweichung zwischen den vorhergesagten Werten (aus der Datengrundlage) und den gemessenen Werten (aus dem DGM1 bestimmt).

Um eventuelle Einflussfaktoren auf die Abweichung feststellen zu können, wurden für die geologischen Bohrdaten weitere Parameter isoliert betrachtet. Tabelle 6 zeigt die durchschnittliche Abweichung sowie R^2 und den RMSE dieser Parameter. Hierbei wurde das gesamte Untersuchungsgebiet mit insgesamt 11.184 Datensätzen herangezogen. Die Korrelationsdiagramme der einzelnen Parameter befinden sich im Anhang.

Tabelle 6: Durchschnittliche Abweichung (in m) der GOK-Höhenwerte der Bohrdaten zum DGM1. Die geringsten Abweichungen weisen die geodätisch eingemessenen Punkte (grün markiert) auf.

		\emptyset Differenz	R ²	RMSE
Zweck der Bohrung (Zweck)	Altlastenerkundung (ALT)	2,6	0,97	4,1
	Bodenuntersuchung (BOD)	1,8	0,99	2,7
	Gefährdungs- einschätzung (GE)	2,5	0,91	6,9
	Ingenieurgeologische Untersuchung (IG)	1,9	0,93	6,1
	Orientierende Boden- untersuchung (ORB)	2,0	0,98	2,7
	Sanierungs- untersuchung (SAN)	1,1	0,99	1,9
Art der Koordinaten- bestimmung (KoFindung)	geodätisch eingemessen (A)	0,5	0,88	0,7
	aus Deutscher Grund- karte bestimmt (D)	2,3	0,94	5,3
	aus Bodenkarte/ Lageplan bestimmt (K)	1,4	0,98	2,8
Art der GOK- Höhenbestimmung (HoFindung)	geodätisch eingemessen (A)	0,4	0,99	0,6
	aus Bodenkarte/ Lageplan bestimmt (K)	1,0	0,89	6,1
	aus ASTER DGM30 bestimmt (A)	3,4	0,97	4,5
Art der Bohrung (ArvTyp)	Bohrung allgemein (B)	1,9	0,89	7,1
	Grundwasser- messstelle (G)	1,3	0,99	2,3
	Bodenluft- messstelle (L)	2,2	0,92	6,2
	Kleinbohrung (S)	2,4	0,96	4,9

Die Tabelle zeigt, dass insbesondere die durchschnittlichen Abweichungen und der RMSE nicht nur stark variieren, sondern auch relativ hoch ausfallen.

Die durchschnittliche Abweichung liegt zwischen 0,4 m und 3,4 m, während der RMSE zwischen 0,6 und 7,1 liegt. Auffällig ist, dass die beiden Parameter mit der geringsten Abweichung (0,4 m bzw. 0,5 m) und dem kleinsten RMSE (0,6 bzw. 0,7) geodätisch eingemessene Punkte sind (grüne Markierung in Tab. 6). Ein Großteil der Koordinaten (6.710) wurde aus der Deutschen Grundkarte abgelesen, während für die Höhenbestimmung oftmals (3.539) das ASTER DGM 30 herangezogen wurde. Dies lässt vermuten, dass sich die hohen Abweichungen i.d.R. auf Fehler der Koordinaten- bzw. Höhenbestimmung während der Bohrmaßnahme zurückführen lassen.

Die in Tabelle 6 zusammengefassten Ergebnisse führten zu der Erkenntnis, dass aufgrund der teilweise hohen Abweichung der GOK-Werte eine Korrektur derselben notwendig ist. Es wurden daher die GOK-Höhenwerte sämtlicher Datenpunkte (sowohl die geologischen als auch die archäologischen) auf die Höhenwerte des aktuellen DGM1 (mit einer Höhengenaugigkeit von ± 20 cm, s. Kapitel 5.1.4) normiert.

6.1.2. Paläotopographie und anthropogene Schichten

Neben der Datengrundlage wurden auch die daraus resultierenden Modellierungsergebnisse evaluiert. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der in Kapitel 5.2.8 beschriebenen Kreuzvalidierung.

Tabelle 7: Statistische Parameter und Fehlerwerte der verschiedenen Interpolationsverfahren. Grün markiert sind die Verfahren die für die finale Interpolation herangezogen wurden.

Modell	Methode	Parameter/Typ	Min. Höhe gemessen/ vorhergesagt (m)	Max. Höhe gemessen/ vorhergesagt (m)	Anzahl Punkte	Ø (m)	RMSE (m)
Paläo	IDW	Power=2,00	152,9/153,9	214,1/209,9	1435	0,14	1,53
Paläo	IDW	Power=3,26	152,9/153,6	214,1/211,2	1435	0,11	1,48
Paläo	NN	Natural Neighbor	152,9/154,1	214,1/209,9	1435	0,11	1,45
Paläo	Kriging	Ordinary/Prediction/Spherical	152,9/154,8	214,1/208,7	1435	0,06	1,88
Paläo	Kriging	Universal/Prediction/Spherical	152,9/154,8	214,1/208,7	1435	0,02	1,88
Paläo	Kriging	Simple/Prediction/Circular	152,9/153,8	214,1/211,5	1435	0,02	1,32
Paläo	Kriging	Simple/Prediction/Spherical	152,9/153,8	214,1/211,3	1435	0,03	1,32
Modell	Methode	Parameter/Typ	Min. Dicke gemessen/ vorhergesagt (m)	Max. Dicke gemessen/ vorhergesagt (m)	Anzahl Punkte	Ø (m)	RMSE (m)
Schichten	IDW	Power=2	0,0/0,1	9,0/7,1	1435	0,08	1,07
Schichten	IDW	Power=2,17	0,0/0,1	9,0/7,1	1435	0,08	1,07
Schichten	NN	Natural Neighbor	0,0/-1,8	9,0/8,9	1435	0,04	1,07
Schichten	Kriging	Ordinary/Prediction/Spherical	0,0/0,1	9,0/7,1	1435	0,02	1,07
Schichten	Kriging	Universal/Prediction/Spherical	0,0/0,1	9,0/7,1	1435	0,02	1,07
Schichten	Kriging	Simple/Prediction/Circular	0,0/0,3	9,0/7,7	1435	0,28	1,16
Schichten	Kriging	Simple/Prediction/Spherical	0,0/0,3	9,0/7,8	1435	0,28	1,16
Schichten	Kriging	Simple/Prediction/Exponential	0,0/0,1	9,0/7,4	1435	0,03	1,06

Im oberen Teil der Tabelle sind die Validierungsergebnisse der Paläoreliefrekonstruktion, im unteren Teil die der anthropogenen Schichtmodellierung angegeben. Getestet wurden jeweils zwei Interpolationen mit der Inversen Distanzwichtung (IDW) wobei jeweils andere Parameter (Power = Exponent der Entfernung) angewendet wurden. Neben der relativ simplen Natural Neighbor Interpolation wurden mehrere Varianten des Kriging-Verfahrens getestet.

Grundsätzlich zeigen die Validierungsergebnisse, dass sowohl bezüglich der durchschnittlichen Abweichung, als auch beim RMSE keine übermäßig großen Unterschiede zwischen den Interpolationsmethoden bestehen. Auch die unterschiedlichen Kriging-Typen und Parameter haben keinen gravierenden Einfluss auf die Abweichungen und den RMSE.

Die geringsten Abweichungen bzw. Fehler treten bei der Paläoreliefmodellierung beim Simple-Kriging-Verfahren mit kreisförmigem (circular) Variogramm auf. Für die Interpolation der anthropogenen Schichten weist ebenfalls das Simple-Kriging-Verfahren, diesmal mit Exponential-Variogramm, die geringsten Fehlerwerte auf.

Diese beiden Interpolationsverfahren wurden daher als die geeignetsten angesehen und im weiteren Verlauf für die Rekonstruktionen sämtlicher Oberflächen bzw. der Schichtmächtigkeit angewendet.

Abbildung 24 zeigt links die Korrelationsdiagramme der beiden angewendeten Kriging-Verfahren für die Paläotopographie und für die Ermittlung der anthropogenen Schichten. Auf der rechten Seite sind Details der Kriging-Parameter, insbesondere der Variogramm-Parameter dargestellt.

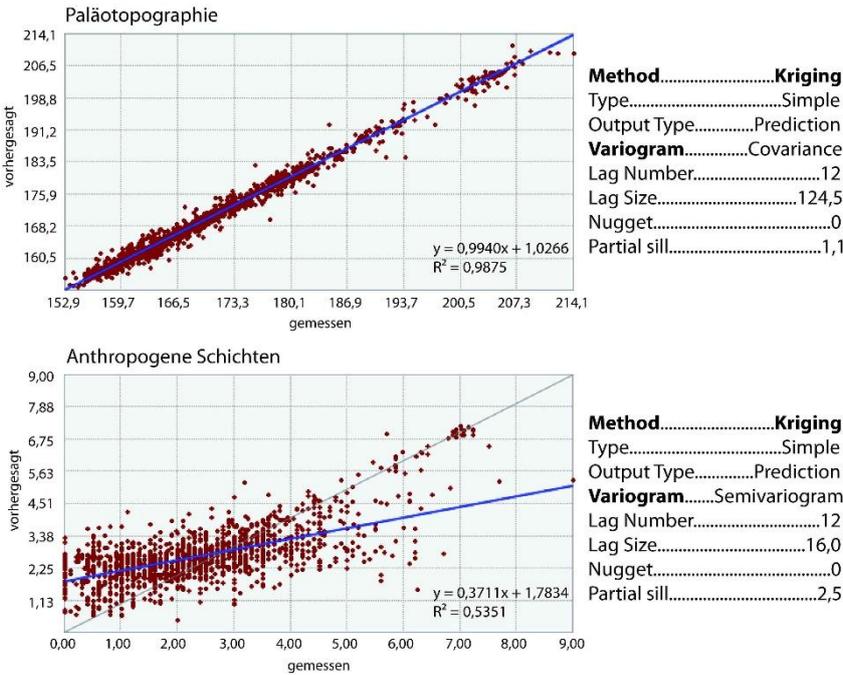


Abbildung 24: Korrelationsdiagramme und Variogramm-Parameter der verwendeten Kriging-Interpolationsverfahren.

Nachdem durch die Kreuzvalidierung das geeignetste Interpolationsverfahren ermittelt wurde, sollte noch untersucht werden, inwiefern die Datenmenge bzw. die Punktdichte der Daten Einfluss auf die Genauigkeit des Modells hat. Abbildung 25 zeigt das Ergebnis dieses iterativen Prozesses. Auch hier wurde die Evaluierung für den historischen Innenstadtbereich mit insgesamt 1.437 Datenpunkten vorgenommen.

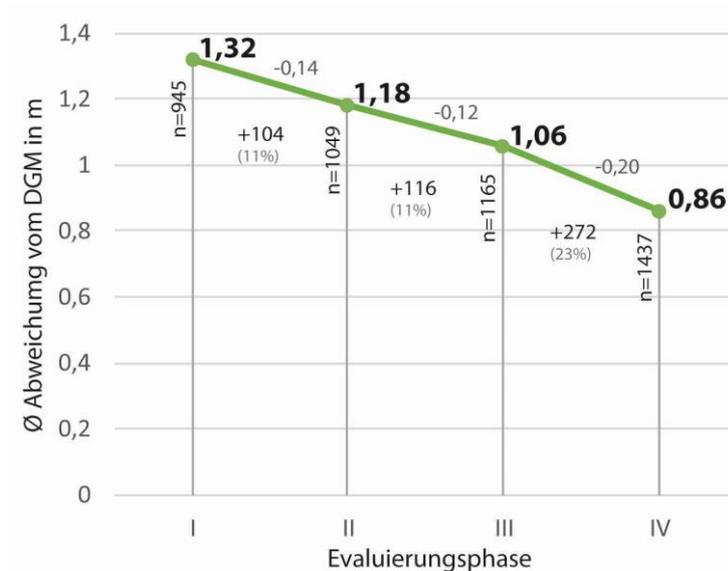


Abbildung 25: Verhalten der Abweichung der Datenpunkte vom Modell bei schrittweiser Vergrößerung der Datenmenge.

Ausgehend von der Gesamtpunktzahl wurde zunächst ein Geländemodell mit nur 945 Punkten erstellt. Die entfernten Punkte weisen eine durchschnittliche Abweichung von 1,32 m zu diesem punktreduzierten Geländemodell auf. Die schrittweise Zugabe von Punkten und anschließende Neumodellierung und Residuenberechnung zeigt, wie durch eine Zunahme von Punkten um ca. 11% die durchschnittliche Abweichung um ca. 0,10 – 0,14 m abnimmt. Die Punktdichte erhöht sich dabei von 270 n/km² in Phase I auf 410 n/km² in Phase IV.

Ein Vorteil des für die Modellierungen angewendete Kriging-Verfahrens liegt in der Möglichkeit, die Varianzoberfläche untersuchen zu können. Damit können Aussagen über die Präzision der Modellierung an bestimmten Stellen getroffen werden (s. Kap. 5.2.4).

Abbildung 26 zeigt die Varianz der Vorhersage für die in Abbildung 24 dargestellte Interpolation der Paläotopographie zusammen mit den archäologischen und geologischen Datenpunkten.

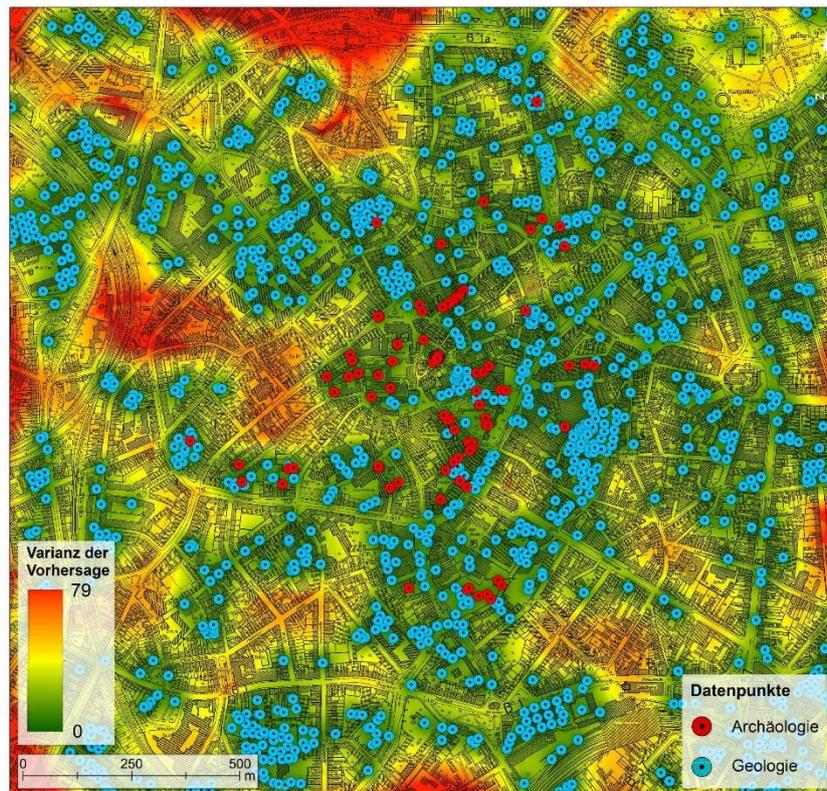


Abbildung 26: Vorhersagevarianz der Höhenwerte des Geländemodells bei Anwendung des Kriging-Verfahrens für die Modellierung der Paläotopographie.

In der Kartendarstellung werden Zonen großer Vorhersagesicherheit (grün), sowie Gebiete geringer Sicherheit (rot) dargestellt. Eine hohe Schätzungsgenauigkeit findet sich an den Stellen mit bekannten Werten bzw. in den Gebieten mit hoher Datenpunktdichte. In den Bereichen für die keine Punkte vorliegen ist die Vorhersagesicherheit des Modells daher erwartungsgemäß geringer. Problematisch ist hierbei vor allem der Bereich des westlichen Markthügels entlang der Jakobstraße, sowie der in nordwestliche Richtung anschließende Anstieg zur Hörn. Hier liegen weder archäologische noch geologische Daten vor. Gleiches gilt für den Anstieg zum Lousberg im Norden der Karte.

6.1.3. Tiefenwerte

Neben einer indirekten Evaluierung der Tiefenwerte über die durchgeführte Validierung der Modellierungen konnten zur Überprüfung auch Bohrungen und Grabungen herangezogen werden, die entweder selbst durchgeführt oder selbst in Augenschein genommen werden konnten (s. Kap. 5.2.8). Abbildung 27 zeigt die Standorte dieser Grabungen bzw. Bohrungen.

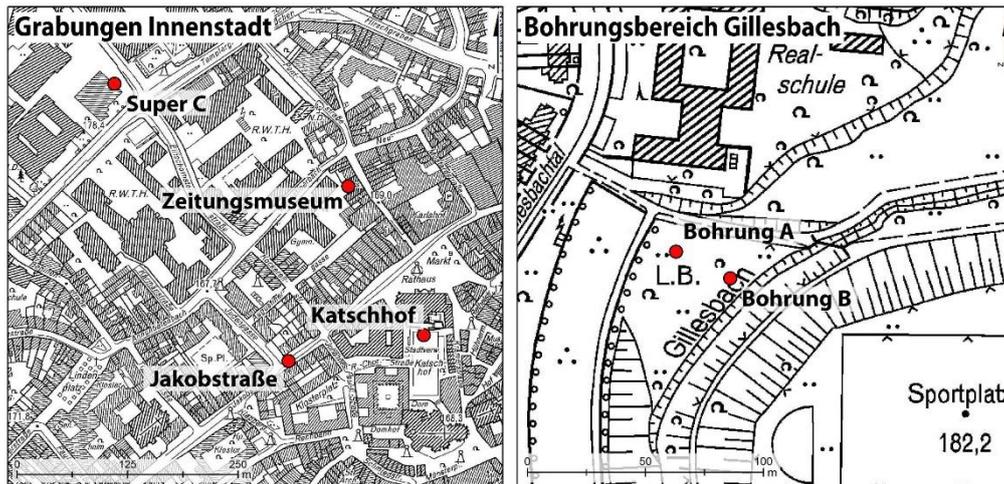


Abbildung 27: Standorte der Grabungen (links) sowie der Bohrungen (rechts), die für die Evaluierung der Tiefenwerte herangezogen wurden.

Insgesamt wurden vier archäologische Grabungen im historischen Innenstadtbereich von Mitarbeitern des Geographischen Instituts begleitet. Hierbei handelt es sich um die Grabung „Super C“ aus dem Jahr 2006, in deren Verlauf ein Lackprofil gewonnen werden konnte, das 2.000 Jahre Stadtgeschichte umfasst und bis auf den anstehenden Boden reicht. Bei der Grabung „Zeitungsmuseum“ aus dem Jahr 2010 wurden Sedimente des Johannisbachs im Rahmen einer Bachelorarbeit untersucht (NÜSSGENS 2011). Am „Katschhof“ wurden von der Stadtarchäologie im Jahr 2011 Teile eines spätrömischen Wehrgrabens entdeckt, dessen Verfüllung vom Verfasser der vorliegenden Arbeit einer geochemischen Untersuchung unterzogen worden war (PRÖSCHEL 2013). Im Rahmen der Grabung „Jakobstraße“ wurde von der Stadtarchäologie Aachen eine römische Straße gefunden. Auch hier wurden vom Autor der vorliegenden Arbeit Sedimentproben genommen sowie die Höhenlage des anstehenden Bodens bestimmt.

Der rechte Teil der Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt des Gillesbachtals. Hier wurden im April 2018 Rammkernbohrungen durchgeführt, mit dem Ziel, die Dicke der hier vermuteten anthropogenen Aufschüttungen (s. Kap. 6.6) festzustellen. Von den insgesamt sieben durchgeführten Bohrungen konnte bei 2 (Bohrung A + B in der Abbildung) die anthropogene Schicht durchbohrt und der anstehende Boden erreicht werden.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse des Abgleichs zwischen den gemessenen Werten, d. h. den Tiefenwerten die im Rahmen der Grabungen und Bohrungen direkt im Gelände bestimmt werden konnten, und den durch die Kriging-Interpolation modellierten Werten. Zusätzlich wurden die Werte aus der in Kapitel 5.2.4 beschriebenen „Minus“-Berechnung zum Vergleich herangezogen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Tiefenwert-Evaluierung. Die Werte stellen die Abweichung in m dar. In der rechten Spalte ist die Entfernung der Standorte zu den nächsten Datenpunkten angegeben.

Grabung/ Bohrung	gemessen	modelliert		Differenz		Distanz (m) zu nächsten Datenpunkten
		"Minus"	Kriging	"Minus"	Kriging	
Zeitungsmuseum (NW2010/1020)	1,5	1,7	2,2	0,2	0,7	42
Super C (NW2006/1173)	2,2	2,8	2,6	0,6	0,4	21
Jakobstraße (NW2017)	2,2	4,3	2,1	1,1	0,1	37
Katschhof (NW2011/0066)	1,9	2,4	2,2	0,5	0,3	36
Gillesbach						
Bohrung A	4,1	3,4	4,8	0,7	0,7	46
Bohrung B	1,5	0,9	5,4	0,6	0,4	48

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Abweichungen und damit die direkt gemessene Genauigkeit der Modellierung für die Innenstadtgrabungen zwischen 0,1 m und 0,7 m liegen. Mit der Ausnahme „Zeitungsmuseum“ liegen die Differenzen der Kriging-Methode deutlich unter denen der „Minus“-Methode. Bei den Bohrungen am Gillesbach bestehen Differenzen zwischen 0,6 m und 3,9 m. Hier weist der Höhenwert aus der Kriging-Interpolation mit 3,9 m eine äußerst große Abweichung auf.

Dass bei dieser Bohrung (Bohrung B) sowie der Grabung am Zeitungsmuseum die „Minus“-Methode bessere Ergebnisse als das Kriging-Verfahren liefert, dürfte an der Geländesituation dieser beiden Standorte liegen. Beide Maßnahmen liegen in unmittelbarer Nähe zu einem Bachlauf (Gillesbach und Johannisbach). Der dadurch bedingte starke Abfall der anthropogenen Schichten auf relativ kurzer Strecke (zu erkennen an Abb. 62 für den Gillesbach sowie in Abb. 33 für den Johannisbach) wird beim Interpolieren der Schichtmächtigkeit mit der Kriging-Methode nicht erfasst.

6.2 Die Paläotopographie des Aachener Kessels

Eine der ersten Fragestellungen dieses Projekts war es, wie das Paläorelief der Aachener Innenstadt rekonstruiert werden kann. Daraus ergaben sich Überlegungen bezüglich einer Ausweitung des Untersuchungsgebietes auf den gesamten Aachener Kessel sowie möglicher Ableitungen, die aus einem Paläo-DGM gewonnen werden können. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Rekonstruktionen vorgestellt. Hierbei handelt es sich jeweils um die Paläotopographie, d.h. die ursprüngliche, vorrömische Geländeoberfläche.

6.2.1 Die Topographie des historischen Innenstadtbereichs

Das Paläo-DGM des Innenstadtbereichs wurde aus insgesamt 1.437 archäologischen und geologischen Punkten interpoliert. Abbildung 28 zeigt den hieraus entstandenen Bereich. Dieser hat eine Fläche von 3,1 km² und umfasst damit den gesamten historischen Innenstadtbereich, der durch die beiden Stadtmauern umschlossen wird.

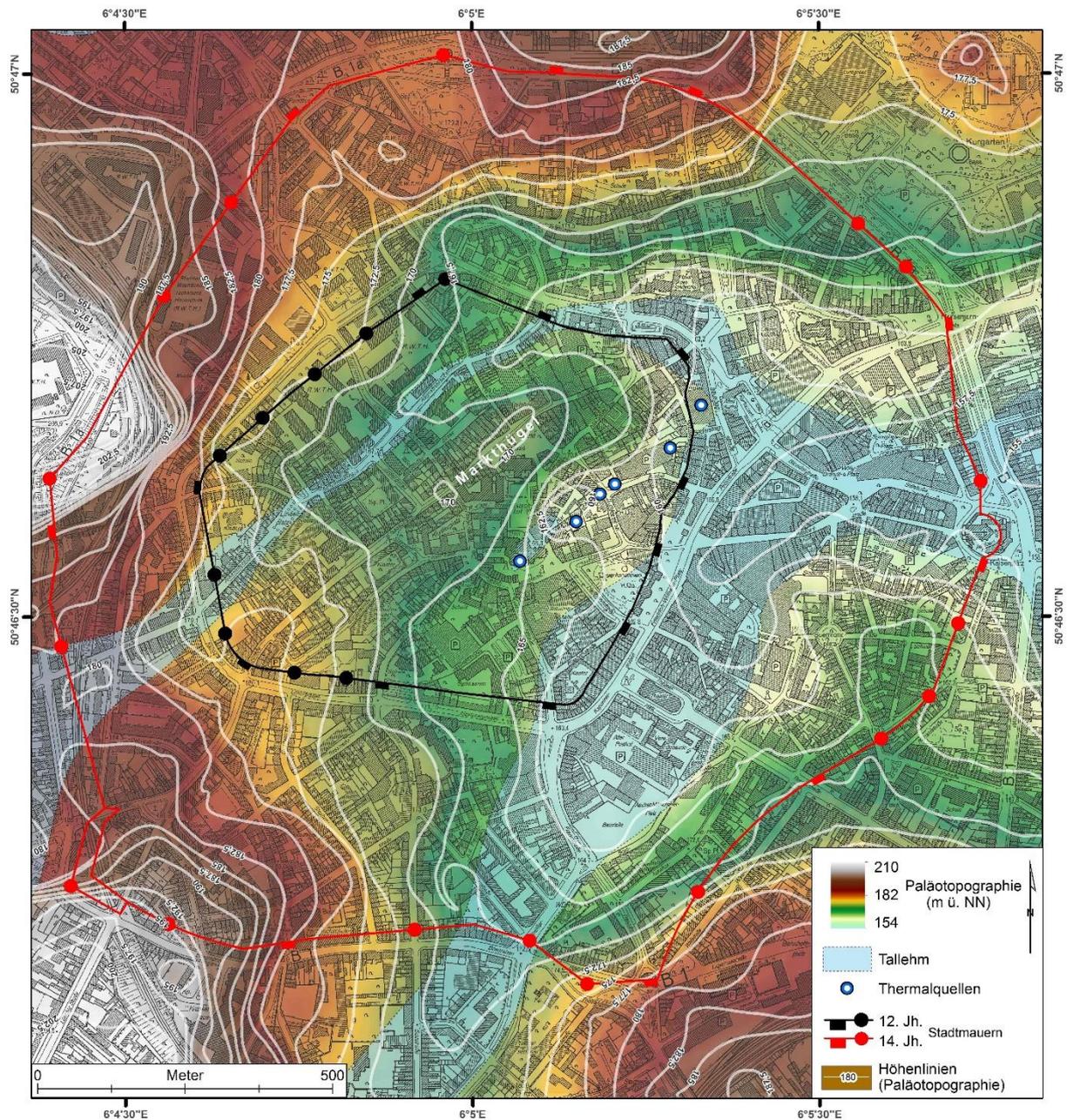


Abbildung 28: Das Paläorelief des historischen Innenstadtbereichs.

Die Höhenwerte der Paläooberfläche liegen zwischen 154,3 m ü. NN im Osten am Ausfluss der Bäche aus dem Kessel, und 210,2 m ü. NN im Westen im Hangbereich des Königshügels. Grundsätzlich weist die Paläotopographie eine ähnliche Struktur wie die rezente Oberfläche auf. Im Zentrum ist der Markthügel zu erkennen, der als Geländesporn in den inneren Aachener Kessel ragt und von den beiden Bächen umflossen wird (hier durch die Tallehmbereiche visualisiert), die aus südöstlicher Richtung aus dem Aachener Wald in den Kessel fließen.

Im Norden ist der Anstieg zum Lousberg zu erkennen, im Süden und Westen der Anstieg zum Aachener Wald, der durch die Bäche eingeschnitten wurde. Deutliche Unterschiede zur modernen Oberfläche weist das Paläorelief im Bereich der Thermalquellen auf. Hier zeigt sich eine Geländevertiefung, die in der heutigen Topographie nicht mehr erkennbar ist. Das Gelände liegt hier bei nur 159,6 m ü. NN und steigt Richtung Nordwesten zum Markthügel auf ca. 170 m ü. NN an. Der Markthügel selbst ist damit auf der Paläotopographie deutlich niedriger als im rezenten DGM1 (ca. 4 m). Auch weist der Hügel noch nicht dieselbe Ausdehnung auf wie heute. Vor allem im nordöstlichen Ende zeigt der Hügel im Paläorelief eine deutlich geringere Ausdehnung als auf der rezenten Oberfläche.

6.2.2 Die Topographie des gesamten Kessels

Nach der erfolgreichen Rekonstruktion des inneren Aachener Kessels und damit des historischen Stadtkerns wurde das Untersuchungsgebiet auf den gesamten Aachener Kessel ausgeweitet (s. Abb. 29).

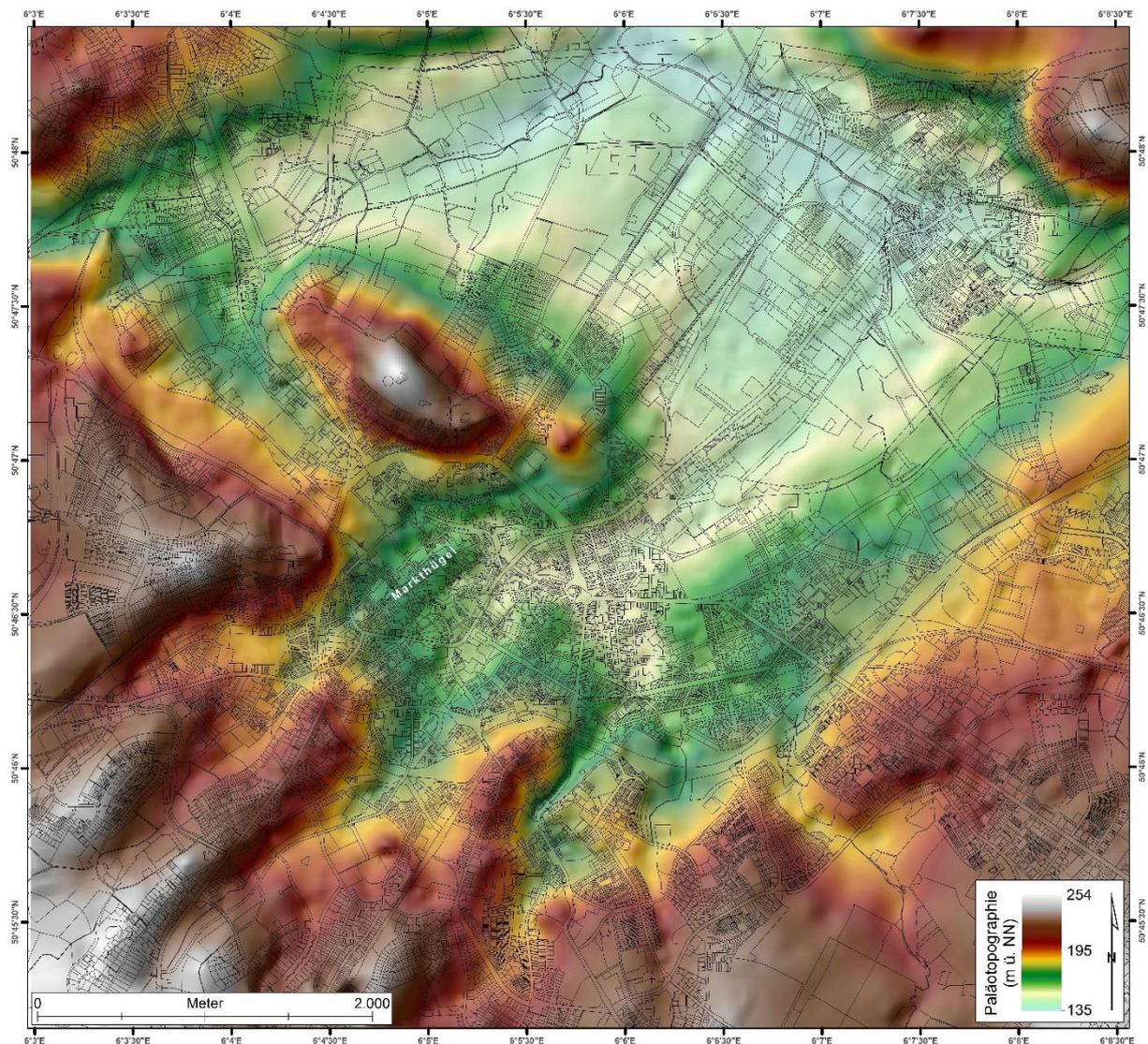


Abbildung 29: Das Paläorelief des gesamten Aachener Kessels.

Die Fläche des erweiterten Untersuchungsgebiets beträgt ca. 40,0 km² und umfasst damit fast den gesamten Aachener Kessel. Einzig im Norden wird der Ausfluss in das Wurmatal nicht mehr ganz erfasst, da hier die Stadtgrenze verläuft und somit keine Datenpunkte mehr vorliegen (s. Abb. 9). Die Höhenwerte des gesamten Paläo-DGMs liegen zwischen 135,6 m ü. NN im nördlichen Ausflussbereich der Wurm und 254,1 m ü. NN im Südwesten Richtung der Höhenzüge des Aachener Waldes.

Der Lousberg erhebt sich auf bis zu 254,1 m ü. NN. Dieser Wert ist insofern problematisch, als der Berg heute eine Höhe von 264 m ü. NN aufweist und nachweislich durch den Feuersteinbergbau abgetragen und nicht aufgehört wurde (s. Kap. 3.3.1 und 4.1). Diese Diskrepanz ergibt sich aus der für den Bereich des Lousbergs nur äußerst geringen Anzahl an Datenpunkten (s. Abb. 9).

Das Paläo-DGM zeigt die vom Menschen noch unbeeinflusste Oberfläche des Kessels. Insbesondere die teilweise heute im Gelände nur noch schwer auszumachenden Täler der aus dem Süden und Südwesten kommenden Bäche sind im Paläorelief gut zu erkennen. Der noch nicht vorhandene Einfluss des Menschen zeigt sich auch in der Änderung der Hangneigung im Untersuchungsgebiet. Abbildung 30 zeigt links die Hangneigung der Paläooberfläche und rechts die der rezenten Oberfläche jeweils in Grad.

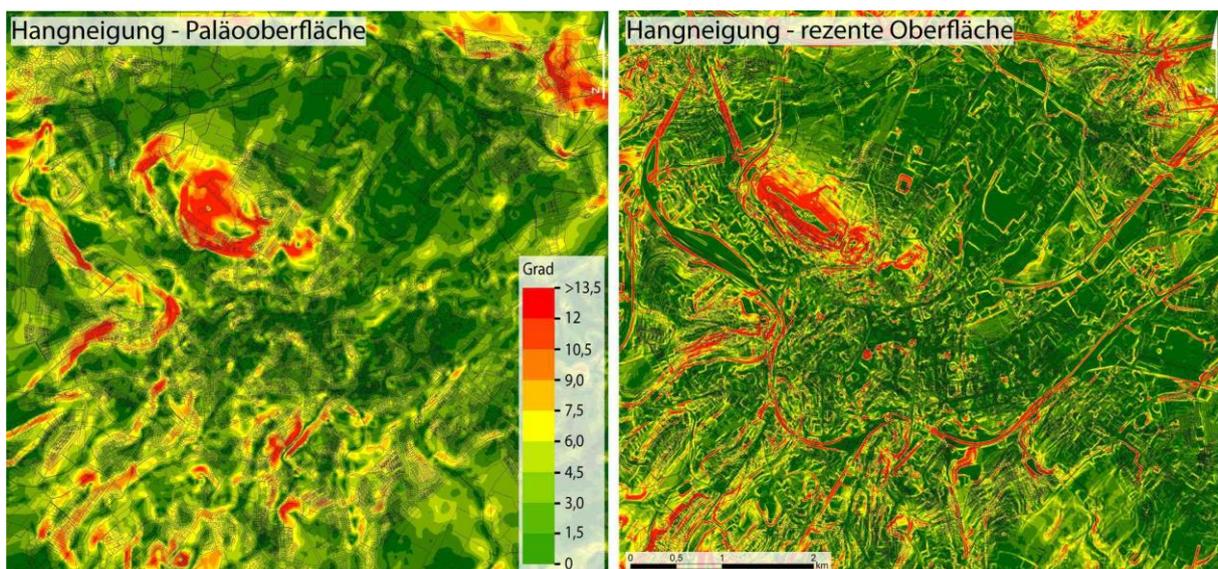


Abbildung 30: Veränderung der Hangneigung von der Paläooberfläche (links) zum rezenten Relief (rechts).

Im Paläorelief weisen weite Teile des Kesselbereichs nur eine geringe bis gar keine Neigung auf. Einzig die Anstiege zum Lousberg, sowie zu den Höhenzügen des Aachener Waldes sind deutlich zu erkennen. Demgegenüber sind auf der rezenten Oberfläche deutlich die An- und Aufschüttungen für den Bau der Verkehrswege (vor allem der Bahndämme) als linienhafte Bereiche hoher Hangneigung zu erkennen.

In Tabelle 9 sind zusätzlich die Minimal-, Maximal- sowie die Durchschnittswerte der Hangneigung für beide Oberflächen dargestellt.

Tabelle 9: Hangneigungswerte der Paläooberfläche und des rezenten Reliefs.

Relief	min.	max.	Ø Neigung
Paläo	0,0	27,1	3,9
Rezent	0,0	59,4	4,4

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sich die maximale Hangneigung mehr als verdoppelt hat. Dies ist offensichtlich auf die Anschüttungen der Bahndämme zurückzuführen. Viele der Bereiche großer Neigung im Paläorelief sind auf der rezenten Oberfläche dagegen flacher ausgeprägt. Da die Anschüttungen der Bahndämme, zusammen mit einigen Straßendämmen aber weite Bereiche des Aachener Kessels durchziehen, hat sich insgesamt der Durchschnittswert der Hangneigung erhöht.

6.3 Der ehemalige Verlauf der Aachener Fließgewässer

Durch das Vorhandensein des Paläo-DGMs ergab sich die Möglichkeit einer Rekonstruktion der ehemaligen Bachverläufe. Abbildung 31 zeigt diese für den Bereich des historischen Stadtkern durchgeführte Rekonstruktion.

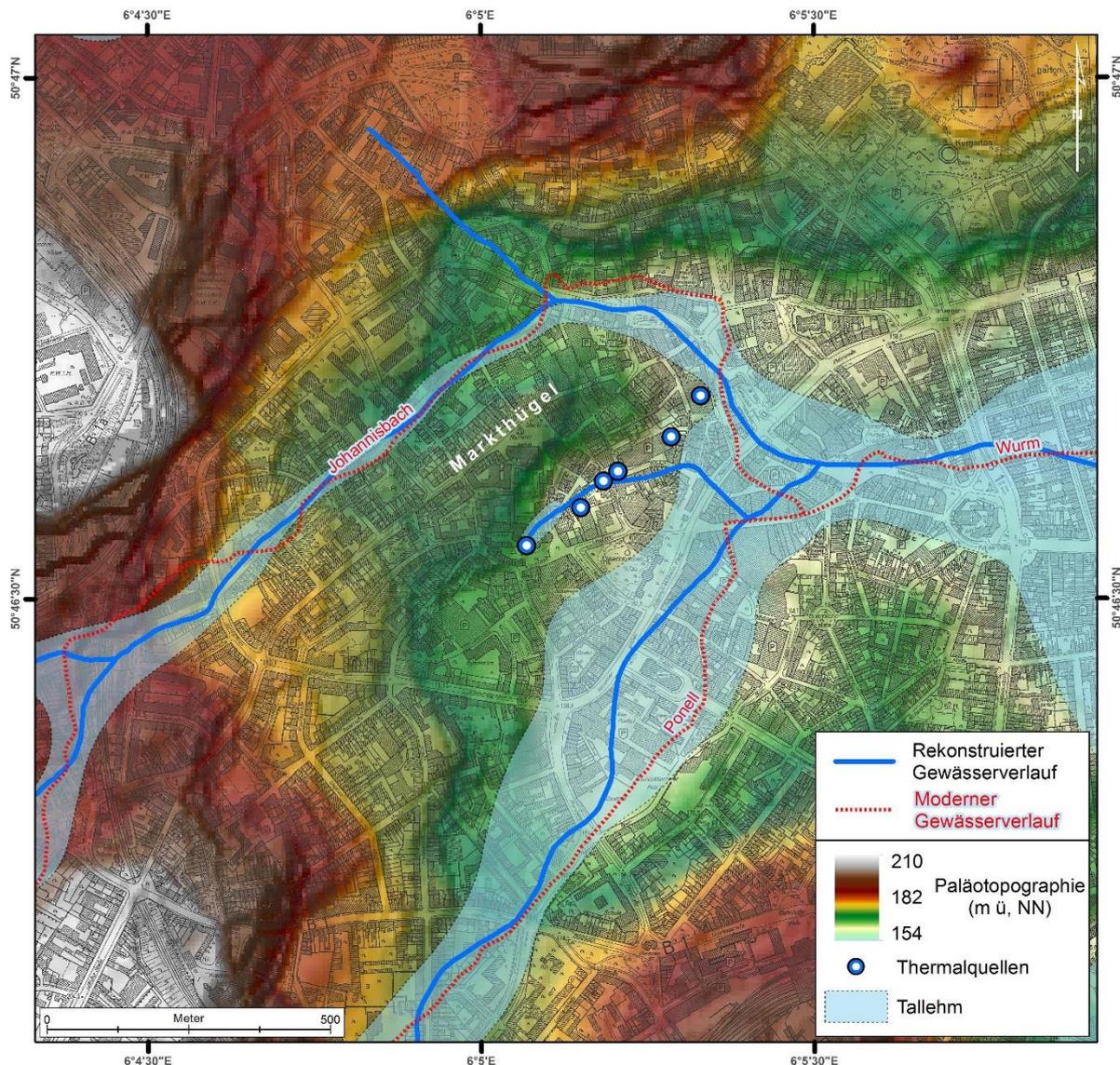


Abbildung 31: Rekonstruktion der ehemaligen Bachläufe im Innenstadtbereich.

Die Abbildung zeigt das Ergebnis der in Kapitel 5.2.5 beschriebenen Gewässerrekonstruktion als blaue Linie. Hierbei handelt es sich um den ursprünglichen Verlauf der beiden Bäche Johannissbach und Ponell, die aus südlicher und westlicher Richtung aus ihrem Quellbereich im Aachener Wald in den Kessel fließen. Als Vergleich ist auch der moderne und in diesem Bereich vollständig verrohrte und kanalisierte Verlauf der beiden Bäche zu sehen.

Darüber hinaus wurden die Bereiche visualisiert, die auf der ingenieur-geologischen Karte (s. Kap. 5.1.1) als Tallem charakterisiert wurden und die Bachauen darstellen.

Die rekonstruierten ursprünglichen Bachbetten weichen zwar in weiten Teilen vom modernen Verlauf ab, gleichzeitig fließen die Gewässer aber fast ausschließlich im Bereich des Tallehms. Deutliche Abweichungen vom modernen Verlauf zeigen sich nördlich der Spornspitze des Markthügels. Hier verlief der Johannisbach auf einer Länge von ca. 350 m zwischen 25 m und 90 m südlicher und damit näher am Markthügel. Eine weitere deutliche Abweichung findet sich im Verlauf der Ponell südlich der Thermalquellen. Hier weicht der ursprüngliche Bachverlauf auf einer Länge von ca. 500 m um bis zu 150 m vom modernen Verlauf ab, und lag deutlich näher Richtung Markthügel.

Neben der Veränderung der Bachverläufe hat die Rekonstruktion auch potentielle, zusätzliche Gewässerverläufe aufgezeigt. Einer dieser Verläufe führt aus nordwestlicher Richtung von der Südflanke des Lousbergs Richtung Johannisbach und vereinigt sich mit diesem nördlich des Markthügels. Ein weiterer Gewässerverlauf zeigt sich an der südlichen Flanke des Markthügels im Bereich der Thermalquellen. Hier führte die Rekonstruktion zu einem ca. 470 m langem Bachverlauf der, ausgehend von der umstrittenen Domquelle (s. Kap. 3.1), durch die Geländevertiefung der Thermalquellen und deren Ausfluss in östlicher Richtung in die Ponell mündet.

6.4 Die anthropogenen Schichten des Aachener Kessels

Neben der Rekonstruktion der eigentlichen Paläotopographie war es naheliegend, deren Differenz zur aktuellen Oberfläche und damit die Mächtigkeit der anthropogenen Schichten zu ermitteln. Eine Karte der Schichtmächtigkeit ermöglicht darüber hinaus eine bessere Visualisierung der Änderung der Topographie als die DGMs alleine.

6.4.1 Die Schichten des historischen Innenstadtbereichs

Abbildung 32 stellt das Ergebnis der Rekonstruktion der anthropogenen Schichten des historischen Innenstadtbereichs dar.

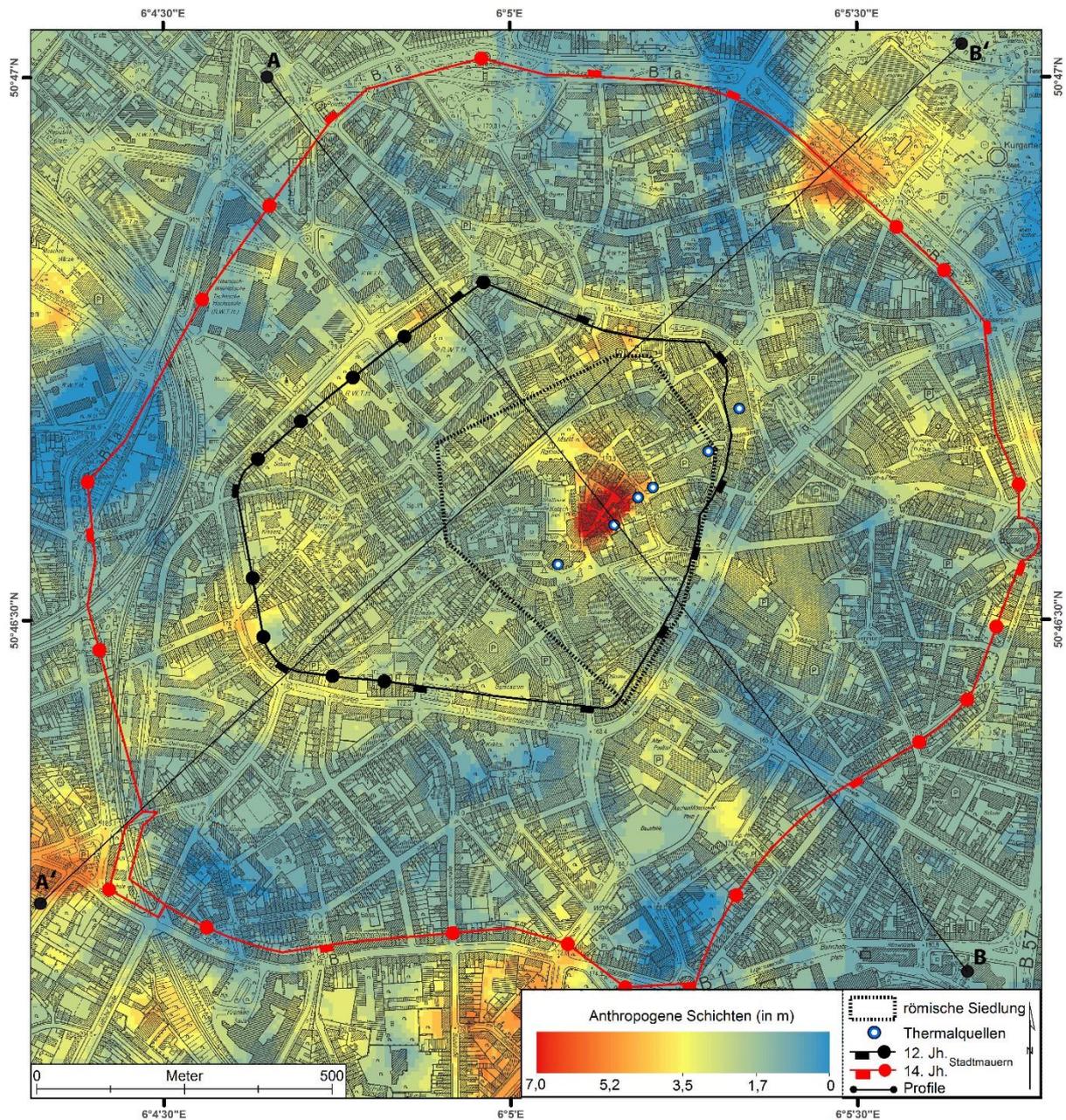


Abbildung 32: Anthropogene Schichten im Innenstadtbereich. Für die Profile s. Abb. 33 und 34.

Die Karte zeigt in flächiger Darstellung die anthropogenen Schichten in Meter vor dem Hintergrund der historischen Strukturen der beiden Stadtmauern sowie der vermuteten Ausdehnung der römischen Siedlung innerhalb des inneren Mauerrings. Die Werte der Schichtmächtigkeit variieren zwischen nahezu 0 m und knapp über 7 m.

Die geringsten Werte finden sich mit 0,2 m im Bereich nahe oder außerhalb der zweiten Stadtmauer. Die höchsten Werte treten mit 7,1 m im Zentrum der ehemaligen römischen Siedlung nahe der Thermalquellen auf. Insgesamt erkennt man, dass die Schichtstärke im Bereich innerhalb der ersten Stadtmauer (Barbarossamauer), und hier nochmals im Bereich der römischen Siedlungsfläche, deutlich höher zu sein scheint. Im Bereich zwischen den beiden Mauern und dann vor allem außerhalb der zweiten Stadtmauer nimmt die Mächtigkeit dagegen ab. Ausnahmen bilden allerdings einige inselförmige Bereiche hoher Werte, die direkt an der zweiten Stadtmauer liegen.

Um die anthropogenen Schichten und damit auch die Differenz zwischen den Oberflächen besser interpretieren zu können, bieten sich Profildarstellungen des Untersuchungsgebiets an.

Abbildung 33 zeigt das Geländeprofil quer durch den Innenstadtbereich. Das Querprofil ist gegliedert in die im Kapitel 5.2.6 beschriebenen 4 Zonen der historischen Aachener Zentrums.

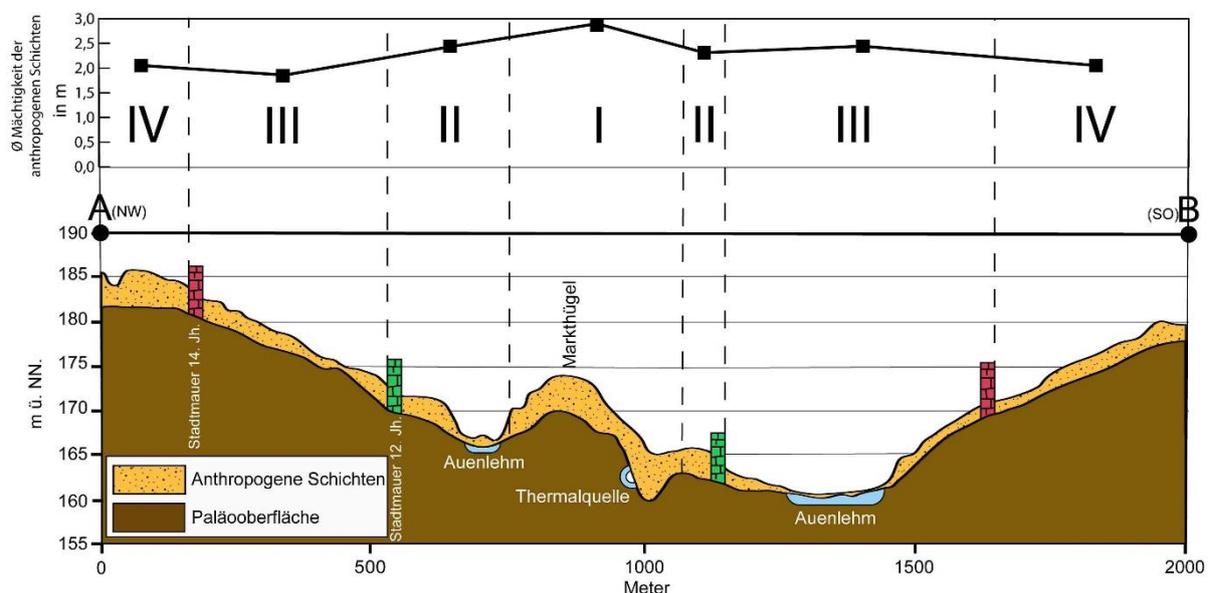


Abbildung 33: Querprofil der Paläotopographie sowie der anthropogenen Schichten durch den Innenstadtbereich. Die historischen Zonen I - IV sind in Kapitel 5.2.6 beschrieben. Für den Verlauf des Profils s. Abb. 32.

Ausgehend von Zone I, der römischen Siedlungsfläche, zeigt die Darstellung hier das mächtigste Schichtpaket im Bereich des Markthügels und vor allem im

Bereich der Thermalquellen (maximal 7,07 m). Erkennbar ist die im Paläorelief (s. Abb. 31) bereits sichtbare Geländevertiefung im Bereich der Quellaustritte und die Verfüllung dieses Bereichs. Der innere Ringbereich der Zone II (ausschließlich der römischen Siedlungsfläche) weist mit durchschnittlich 2,54 m ebenfalls eine relativ hohe Schichtstärke auf. Im nordwestlichen Bereich ist diese Zone durch das Auengebiet des Johannisbachs gekennzeichnet, in dem sich nur äußerst geringmächtige Siedlungsschichten befinden. Das gleiche gilt für den Auenbereich der Ponell in südöstlicher Richtung in Zone III (zwischen den Stadtmauern). Auch hier ist die Mächtigkeit der Schichten nur sehr gering ausgeprägt. Insgesamt weist die durchschnittliche Dicke in Zone III mit 1,97 m den geringsten Wert auf. In Zone IV (außerhalb der zweiten Stadtmauer) liegen die durchschnittlichen Werte mit 2,09 m wieder leicht höher. Diese leichte Erhöhung ist auf die erwähnten inselförmigen Bereiche hoher Aufschüttungswerte am Rand der zweiten Stadtmauer zurückzuführen. Werden diese nicht mit in die Berechnung einbezogen, liegt die durchschnittliche Schichtdicke bei nur 1,66 m.

Tabelle 10: Schichtstärken sowie Volumen für die einzelnen historischen Zonen. Zone IV (alternativ) zeigt die Werte ohne die hohen Aufschüttungsbereiche entlang der Stadtmauer.

Zone	max. Dicke	Ø Dicke	SD Dicke	Volumen	Fläche
I (Römisch)	7,07 m	2,83 m	0,95 m	479.412 m ³	169.542 m ²
II (15. Jh.)	4,40 m	2,54 m	0,42 m	684.185 m ³	269.724 m ²
III (19. Jh.)	5,42 m	1,97 m	0,66 m	2.815.526 m ³	1.429.641 m ²
IV (>1860)	5,72 m	2,09 m	0,89 m	3.412.785 m ³	1.630.644 m ²
IV (alternativ.)	3,66 m	1,66 m	0,57 m	1.958.524 m ³	1.019.713 m ²

Tabelle 10 fasst die durchschnittlichen und die maximalen Dicken der einzelnen Zonen sowie die sich hieraus ergebenden Volumen der Siedlungsschichten nochmals zusammen. Daraus lässt sich entnehmen, dass die durchschnittliche Schichtmächtigkeit vom Zentrum aus nach außen hin (und damit von den ältesten Siedlungsbereichen zu den Jüngeren) abnimmt.

Neben dem Querprofil über den Markthügel wurde ebenfalls ein Längsprofil in SW-NO Ausdehnung längs über den Markthügel angelegt (s. Abb. 34). Der Verlauf des Profils ist in Abbildung 32 markiert und zeigt, dass zwei der hohen Aufschüttungsbereiche außerhalb der zweiten Stadtmauer im Profilverlauf liegen.

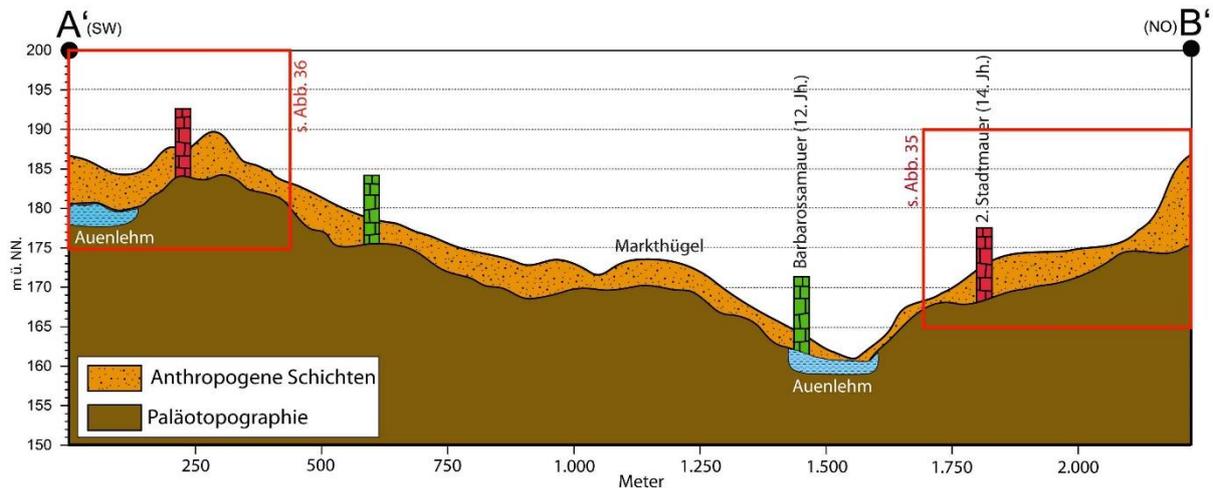


Abbildung 34: Längsprofil der Paläotopographie sowie der anthropogenen Schichten durch den Innenstadtbereich. Für die markierten Detailprofile der Stadtmauerbereiche s. Abb. 36 und 37. Für den Verlauf des Profils s. Abb. 32.

Das Längsprofil zeigt im Zentrum den Markthügel mit der relativ hohen Schichtstärke. Im Bereich zwischen den Stadtmauern ist die Mächtigkeit der Schichten im Nordosten im Auenbereich des Johannesbachs wiederum nur sehr gering ausgeprägt. Anders sieht es im höhergelegenen, südwestlichen Zwischenmauerbereich aus. Hier sind als Verlängerung des Markthügels Siedlungsschichten mit bis zu 4 m zu erkennen. Um die zwei Bereiche am Anfang und am Ende des Profils, die außerhalb der zweiten Stadtmauer liegen, besser visualisieren zu können, wurden für diese separate, detailliertere Profile erstellt (s. Abb. 35 und 36).

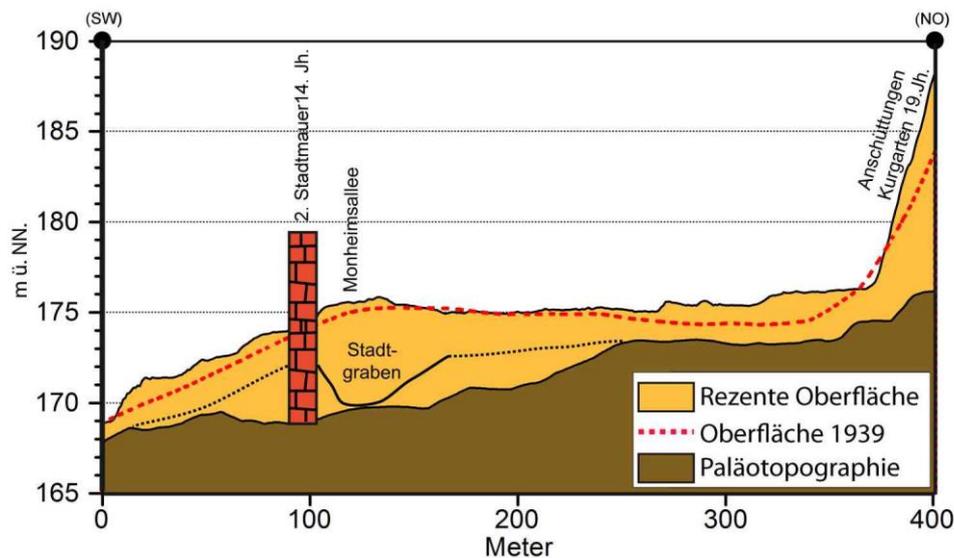


Abbildung 35: Detailprofil des nordöstlichen Stadtmauerbereichs. Für die genaue Lage des Profils s. Abb. 34 und 32.

Abbildung 35 zeigt als Detailausschnitt aus Abbildung 34 den nordöstlichen Bereich außerhalb der Stadtmauer. Hierbei handelt es sich um einen der Bereiche die bereits in Abbildung 32 eine sehr hohe anthropogene Schichtmächtigkeit (bis zu 5,25 m) zeigten. Da dieser Bereich außerhalb des alten mittelalterlichen oder gar römischen Siedlungsbereichs liegt, sind solche mächtigen Siedlungsschichten verwunderlich. Zusätzlich zur Paläo- sowie rezenten Oberfläche wurde im Detailprofil die Oberfläche von 1939 (s. Kap. 6.6) dargestellt. Darüber hinaus wurde die Lage des ehemaligen, hier unter der Monheimsallee verlaufenden, Stadtgrabens eingetragen. Da es sich bei den Schichten somit nicht um Nachkriegsanschüttungen handeln kann, wird davon ausgegangen, dass es sich um Verfüllungen des ehemaligen Stadtgrabens handelt, insbesondere da die Schichten außerhalb des potentiellen Grabenbereichs auf deutlich geringere Stärken abfallen (s. Kap. 7.4 für eine detailliertere Analyse).

Ähnlich dürfte es sich im südwestlichen Bereich außerhalb der Mauer, dargestellt in Abbildung 36, verhalten.

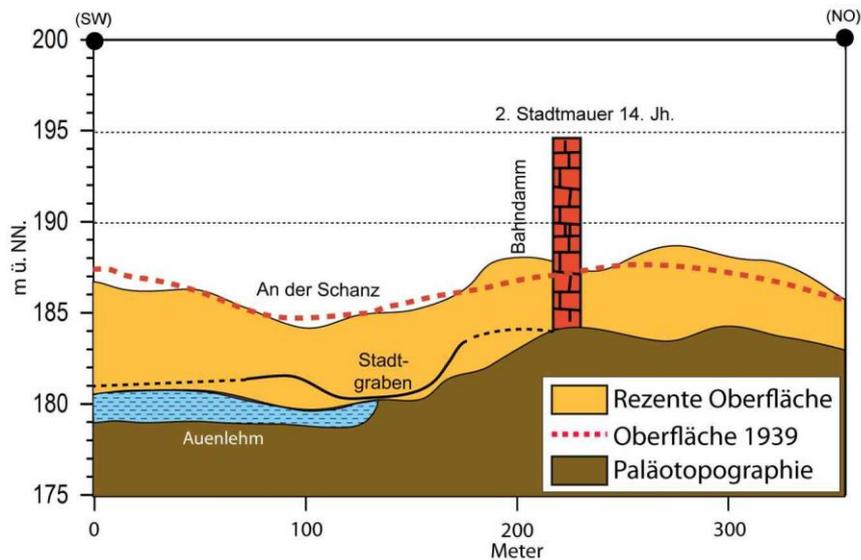


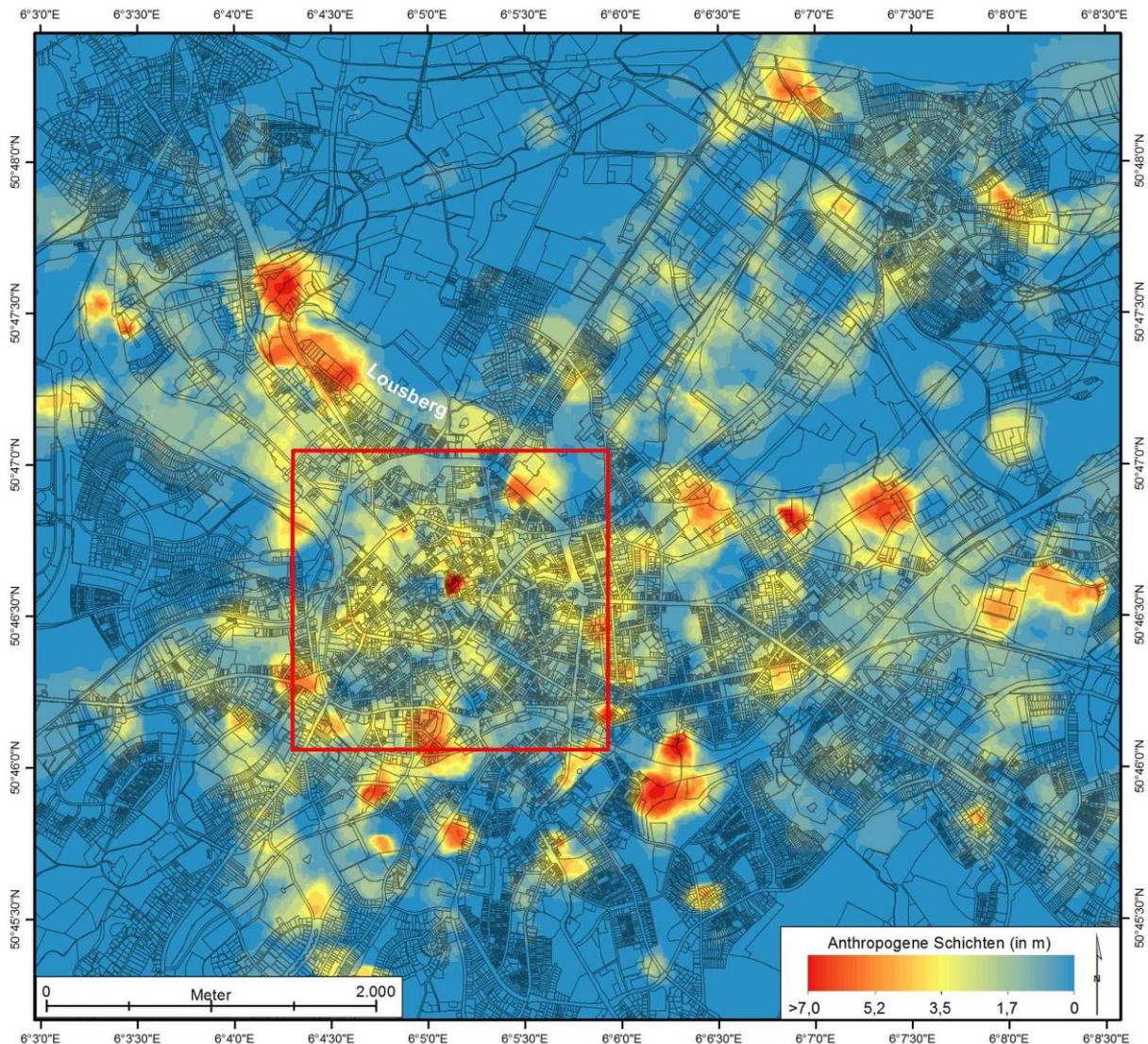
Abbildung 36 Detailprofils des südwestlichen Stadtbauerbereichs.
Für die genaue Lage des Profils s. Abb. 34 und 32.

Hier zeigt der mit der heutigen Oberfläche nahezu identische Verlauf der Oberfläche von 1939 ebenfalls, dass es sich nicht um Geländeänderungen nach dem Zweiten Weltkrieg handeln kann. Auch hier ist zu vermuten, dass es sich um die Verfüllung des Stadtgrabens handelt, dessen Wasserfüllung hier direkt aus dem Johannisbach gespeist wurde. (s. Kap. 7.4 für eine detailliertere Analyse).

6.4.2 Die Schichten des gesamten Kessels

Nachdem bereits das Paläorelief des historischen Innenstadtbereichs um das Gebiet des gesamten Aachener Kessels erweitert wurde, konnte auch die Mächtigkeit der anthropogenen Schichten für diesen Bereich dargestellt werden.

Abbildung 37 zeigt die Stärke der Siedlungsschichten für den gesamten Untersuchungsraum. Da es sich hierbei weitgehend um ein Areal handelt, dass erst frühestens im 19. Jahrhundert besiedelt bzw. bebaut wurde, waren hier keine großen Schichtstärken zu erwarten.



**Abbildung 37: Anthropogene Schichten des gesamten Untersuchungsgebiets.
Für eine Detaildarstellung des historischen Innenstadtbereichs (rote Markierung) s. Abb. 32.**

Die Abbildung zeigt daher auch, für weite Teile des Aachener Kessels keine nennenswerten anthropogenen Schichten. Allerdings sind Gebiete zu erkennen, die eine Schichtstärke von fast 8 m aufweisen. Aus der Karte wird deutlich, wie sich diese Siedlungsschichten von denen innerhalb des historischen Stadtkerns unterscheiden. Die Gebiete mit großer Schichtstärke liegen jeweils konzentriert auf relativ kleiner Fläche „inselförmig“ über das Stadtgebiet verstreut. Es gibt hier keine mehr oder weniger starke Schicht über das gesamte Gebiet mehr, wie das noch innerhalb des Mauerrings der Fall ist. Zudem verteilen sich die Schichtpakete des erweiterten Untersuchungsgebiets tendenziell in östliche und südöstliche Richtung. Eine Ausnahme bildet hierbei

ein größeres Aufschüttungsgebiet westlich des Lousbergs. Nördlich des Lousbergs finden sich überhaupt keine Siedlungsschichten mehr.

Da es sich bei den teilweise massiven Schichtpaketen im Gesamtuntersuchungsraum außerhalb der historischen Kernstadt vermutlich um neuzeitliche oder moderne Geländeänderungen handelt, wurden analog zur Ausweisung der historischen Zonen des Innenstadtbereichs Zonen definiert, die die neuere Siedlungsentwicklung darstellen. Abbildung 38 zeigt nochmals eine Karte der anthropogenen Schichten (Karte A) im gesamten Kesselbereich, zusammen mit einer Karte desselben Bereichs auf der die Siedlungsentwicklung seit dem Mittelalter nachvollzogen werden kann (Karte B).

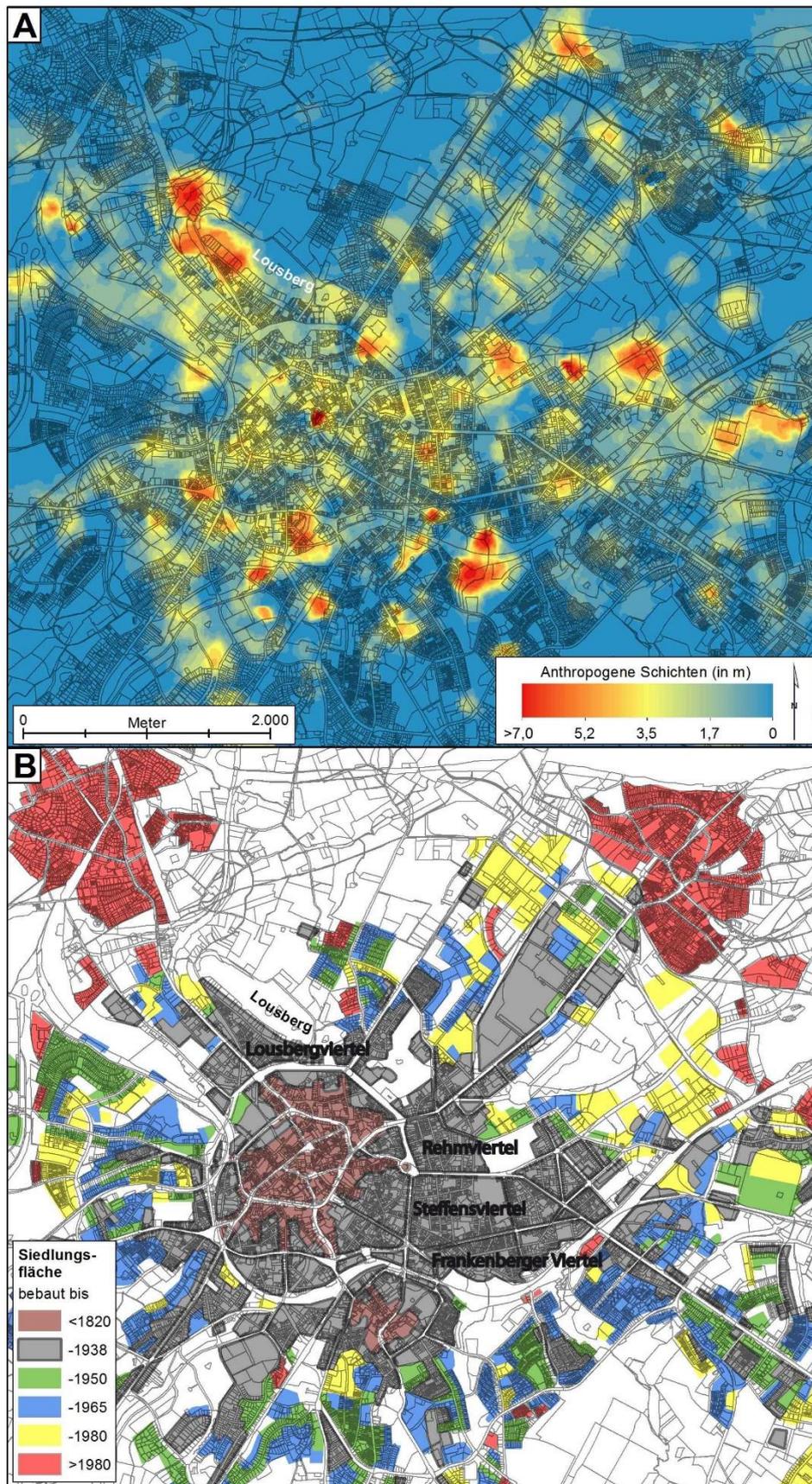


Abbildung 38: Anthropogene Schichten (A) und die Entwicklung der Besiedlung im Untersuchungsgebiet(B). Dargestellt sind auch die in Kap. 4.6 beschriebenen gründerzeitlichen Viertel.

Karte B in Abbildung 38 zeigt zunächst das Ergebnis der Zonierung. Die braune Signatur der Siedlungsfläche bis 1820 repräsentiert den historischen Stadtkern während in Grau die gründerzeitliche Stadterweiterung vor allem in östliche Richtung, dargestellt ist. Weitere Farben zeigen die Nachkriegsentwicklung, im Laufe derer nun erstmals auch südlich und westlich in Richtung der Höhen des Aachener Waldes gesiedelt wurde.

Die Zonen dienen als Grundlage für die Berechnung der Schichtstärken. Tabelle 11 fasst die Ergebnisse der Berechnung zusammen.

Tabelle 11: Schichtstärke, Volumen und Fläche der anthropogenen Schichten für die einzelnen Siedlungsbereiche. (SD=Standardabweichung).

Zeitraum	max. Dicke	Ø Dicke	SD Dicke	Volumen	Fläche
<1820	7,07 m	1,99 m	0,84 m	2.095.473 m ³	1.055.105 m ²
-1938	6,48 m	1,71 m	0,89 m	11.227.525 m ³	6.550.761 m ²
-1950	5,04 m	1,00 m	0,87 m	2.211.340 m ³	2.215.312 m ²
-1965	5,54 m	0,97 m	0,81 m	3.181.840 m ³	3.275.088 m ²
-1980	6,90 m	1,24 m	1,11 m	2.820.086 m ³	2.280.125 m ²
>1980	4,26 m	0,96 m	0,65 m	2.817.363 m ³	2.930.588 m ²

Die Tabelle lässt erkennen, wie analog zur Zonierung im Stadtkern, die durchschnittliche Schichtdicke abnimmt, je jünger die Siedlungsfläche ist. Die Flächen des Kernstadtbereichs, die bis 1820 besiedelt waren, weisen eine durchschnittliche Schichtstärke von 1,99 m auf. Dies entspricht ziemlich genau dem Wert, der in der Zonierung des historischen Stadtkerns für Zone IV (zwischen den Stadtmauern) errechnet wurde (1,97 m). Die darauffolgende Siedlungsphase (bis 1938) erreicht immer noch eine durchschnittliche Stärke von 1,71 m. Alle zeitlich folgenden Flächen fallen dann auf ca. 1 m Schichtmächtigkeit ab. Eine Ausnahme bildet die Phase zwischen 1965 und 1980, die eine Dicke von 1,24 m aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich einige der Bereiche mit sehr hohen Werten auf diesen Siedlungsarealen befinden.

Abbildung 39 zeigt eine hypothetische Abfolge bzw. Stratigraphie der modernen Siedlungshorizonte auf Grundlage der Werte aus Tabelle 11.

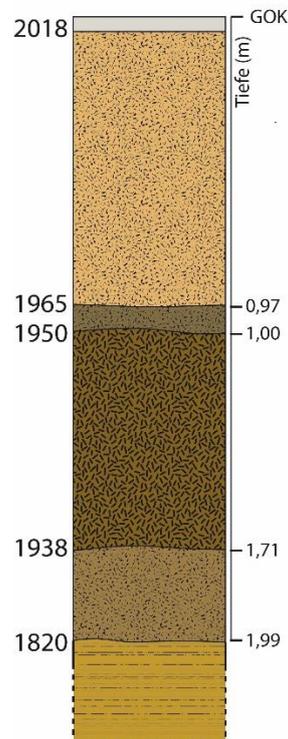


Abbildung 39: Abfolge der durchschnittlichen Tiefen der modernen Siedlungshorizonte (idealisiert) im gesamten Untersuchungsgebiet.

Die in Abbildung 39 dargestellten Siedlungshorizonte stellen eine idealisierte Abfolge unter der Annahme dar, dass an der entsprechenden Stelle alle Siedlungsphasen stattgefunden haben. Die Oberfläche 1980 wurde nicht mit dargestellt, da ihre Werte der Schichtstärke, wie bereits erwähnt, durch die Extremwerte verzerrt sind. Zu erkennen ist, dass die Tiefen der Zeitscheiben 1820 und 1938 jeweils relativ nahe bei einander liegen und 1,71 m bzw. fast 2 m erreichen. Die späteren Siedlungsphasen liegen ebenfalls in der Tiefe nahe bei einander, weisen aber mit 0,97m bzw. 1,00 m nur gut halb so hohe Tiefenwerte wie die älteren Horizonte auf.

6.5 4D-Analyse des historischen Stadtkerns

Neben der Modellierung der Paläooberfläche des Aachener Kessels war die Rekonstruktion der Topographie weiterer Zeitscheiben eine der zentralen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit. Da die Beantwortung dieser Frage nur auf Grundlage der archäologischen Daten möglich ist (s. Kap. 5.1), und eine zeitliche Entwicklung der Topographie für ein Gebiet dargestellt werden sollte, war es absehbar, dass die 4D-Rekonstruktion nicht über das gesamte Untersuchungsgebiet vorgenommen werden konnte. Das in Kapitel 5.2.4 beschriebene Areal stellt daher den Bereich dar, in dem für alle im selben Kapitel beschriebenen Zeitscheiben genügend Datenpunkte gewonnen werden konnten, um eine Geländemodellierung durchführen zu können. Im Folgenden sind die rekonstruierten Oberflächen der einzelnen Epochen sowie deren Änderungen zur vorherigen Zeitscheibe dargestellt. Darüber hinaus werden die Darstellungen der Geländeprofile (8-fach überhöht) für jede Zeitscheibe vorgestellt.

6.5.1 Das vorrömische Relief

Das vorrömische-, bzw. Paläorelief repräsentiert gemäß der Grundannahme die Geländeoberfläche vor jedweder anthropogenen Einflussnahme. Das Paläorelief wurde in seiner gesamten Ausdehnung bereits in Kapitel 6.2 dargestellt. Hier soll daher nur der Ausschnitt des 4D-Untersuchungsgebiets im Detail gezeigt werden. Abbildung 40 zeigt das vorrömische Geländemodell in einer geschummerten Darstellung zusammen mit Höhenlinien.

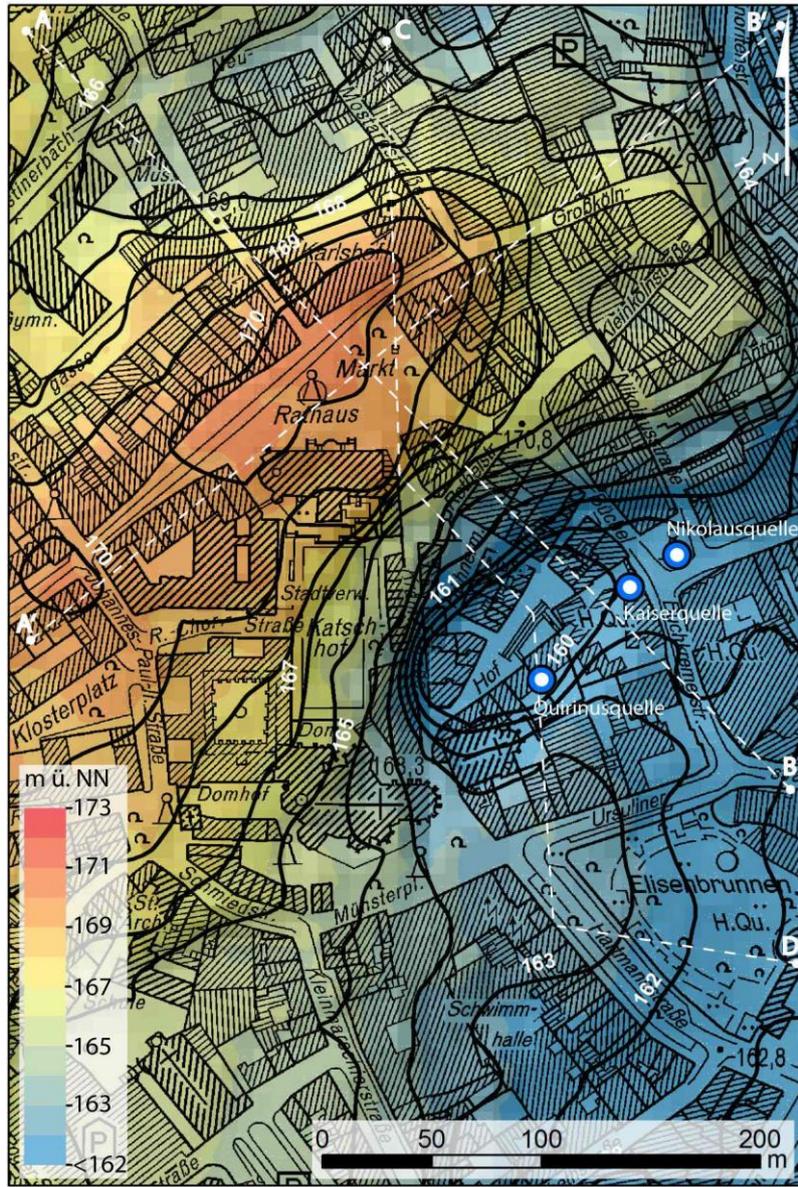


Abbildung 40: Vorrömische Paläorelief des 4D-Untersuchungsgebiets mit dem Verlauf der in diesem Kapitel erstellten Geländeprofile .

Besonders auffällig auf dem Paläo-DGM in diesem Bereich ist die ausgeprägte Senke südöstlich des Marktplatzes im Bereich des heutigen Hofes. Richtung Osten ist die Geländevertiefung geöffnet. Innerhalb dieser Senke befinden sich die Quellaustritte von drei der insgesamt sieben Thermalquellen des Aachener Quellzugs. Die Höhe ü. NN liegt zwischen 159,6 Meter im Bereich der Geländesenke und 170,5 Meter auf dem Markthügel. Dies führt zu einer Höhendifferenz von fast 11 Metern auf einer Entfernung von ca. 140 Metern

Somit besteht ein relativ steiler Geländeanstieg zwischen diesen beiden Bereichen. Die ehemalige Steilheit in diesem Bereich wird auch durch die Visualisierung der Hangneigung in Abbildung 41 deutlich.

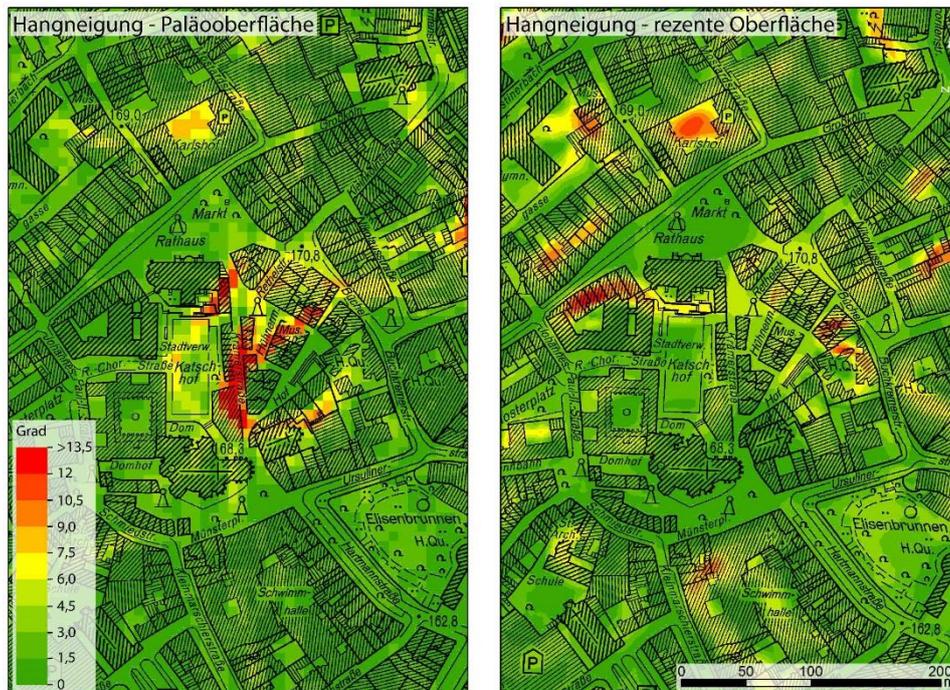


Abbildung 41: Die Änderung der Hangneigung im Bereich des Markthügels vom Paläorelief (links) zur aktuellen Oberfläche (rechts) in Grad.

Die Abbildung verdeutlicht auch die Änderung des Paläoreliefs zur heutigen Oberfläche. Deutlich zu erkennen ist der steile Anstieg des Geländes aus dem Bereich des Hofes mit über 18 Grad Hangneigung in Richtung Norden und Westen, sowie die flache Öffnung der Senke in östliche Richtung. Im heutigen Relief existiert diese Steilheit nicht mehr und die ausgeprägte Senke mit ihren steilen Flanken ist größtenteils eingeebnet. Die Änderung der Hangneigung verdeutlicht zusätzlich Tabelle 12.

Tabelle 12: Hangneigungen der Paläo- sowie der rezenten Oberfläche.

Relief	min.	max.	Ø Neigung
Paläo	0,0	18,3	2,2
Rezent	0,0	14,7	2,8

Die maximale Hangneigung hat vom Paläorelief zur heutigen Topographie in diesem Gebiet deutlich abgenommen. Dies ist auf die Einebnung der Geländesenke zurückzuführen. Gleichzeitig ist die durchschnittliche Neigung im gesamten Untersuchungsgebiet, insbesondere aber an den Flanken des Markthügels, angestiegen. Das heißt, obwohl die extremen Geländeunterschiede zwischen Markt und Hof stark ausgeglichen wurden, hat das Anwachsen der anthropogenen Schichten insgesamt zu einer Versteilung des Geländes geführt.

Die Ausprägung des vorrömischen Reliefs bzw. seine Differenz zur heutigen Oberfläche lässt sich am deutlichsten anhand von Profildarstellungen erkennen

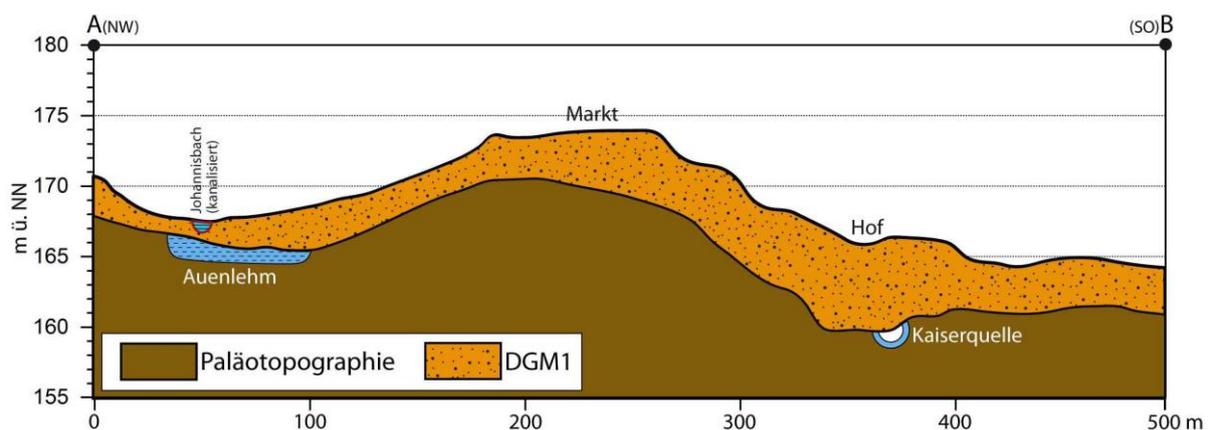


Abbildung 42: Querprofil der Paläooberfläche über den Markthügel. Verlauf siehe Abb. 41.

Abbildung 42 zeigt das Querprofil über den Markthügel. Deutlich stellen sich im Paläorelief die Geländesenke (hier im Bereich der Kaiserquelle), sowie der steile Anstieg zum Markt dar. Erkennbar ist auch, dass diese Geländesituation im heutigen Relief kaum mehr ausgeprägt ist. Das starke Anwachsen der Siedlungsschichten von ca. 8 Metern im Bereich der Quellaustritte bei gleichzeitigem geringeren Anwachsen auf dem Markthügel (ca. 4 Meter) hat zu einer Verflachung des Geländes in diesem Bereich geführt. Ebenfalls wird sichtbar, dass es im Auenbereich des Johannisbaches insgesamt zum geringsten Anwachsen der anthropogenen Schichten von teilweise nur ca. 1 Meter gekommen ist.

Abbildung 43 zeigt das Längsprofil über den Markthügel in nordöstliche Richtung.

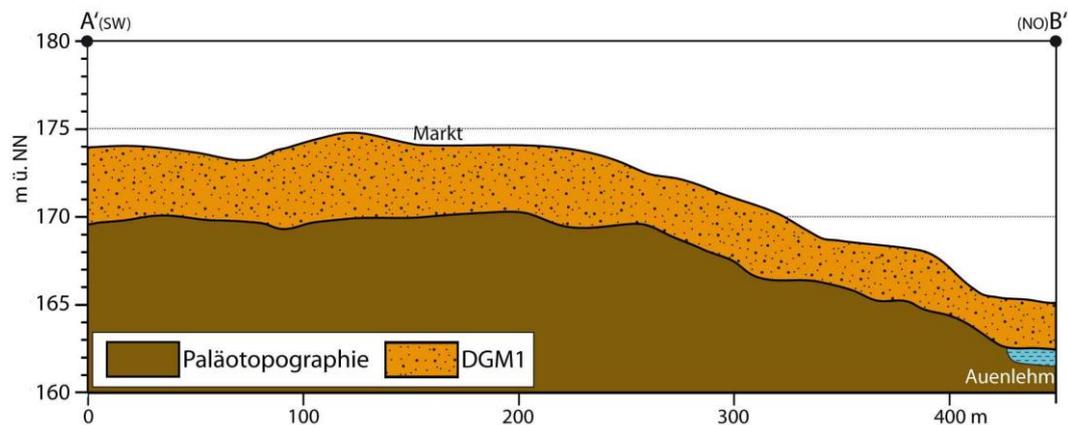


Abbildung 43: Längsprofil der Paläooberfläche über den Markthügel. Verlauf siehe Abb. 41.

Hier ist, anders als im Querprofil, eine deutlich geringere Diversität in der Schichtmächtigkeit zu erkennen. Diese bewegen sich auf dem Markthügel relativ gleichbleibend zwischen 4 und 5 Metern. Im Hangbereich des Markthügels in nordöstliche Richtung ist die Differenz ebenfalls relativ gleichmäßig, wenngleich mit 3 bis 4 Metern geringer als auf dem Hügel. Vor allem ist hier im Auenbereich des Johannesbaches die Schichtmächtigkeit höher. Hier ist andeutungsweise das auch in Kapitel 6.3 schon beschriebene Wachsen des Markthügels in nordöstliche Richtung, mit der Folge der Verlagerung des Baches, zu erkennen.

6.5.2 Das spätrömische Relief

Die spätrömische Oberfläche stellt die Topographie dar, welche zum Zeitpunkt der römischen Aufgabe des Stadtgebiets bestand. Der genaue Zeitpunkt des römischen Abzugs ist nicht bekannt, wird aber Ende des 4. oder Anfang des 5. Jahrhunderts n. Chr. vermutet. Auch ein Bevölkerungsrückgang im Übergang der Spätantike zum frühen Mittelalter ist nicht zweifelsfrei geklärt (s. Kap. 4.2). Einen charakteristischen archäologischen Befund aus dieser Übergangszeit stellt ein spätantiker römischer Wehrgraben dar (v. HAEHLING & SCHAUB 2013). Dessen Bau um den erhöhten Markthügelbereich war vermutlich stark von den topographischen Gegebenheiten beeinflusst.

Da es keine Hinweise auf eine großflächige Zerstörung Aachens im Rahmen der spätantiken Germaneneinfälle gibt (v. HAHLING & SCHAUB 2013) und von einer Siedlungskontinuität ausgegangen werden kann (SCHAUB 2011c), stellt die spätrömische Oberfläche somit die topographische Grundlage für die weitere mittelalterliche Besiedlung Aachens dar.

Abbildung 44 zeigt das spätrömische Geländemodell in einer geschummerten Darstellung zusammen mit Höhenlinien.

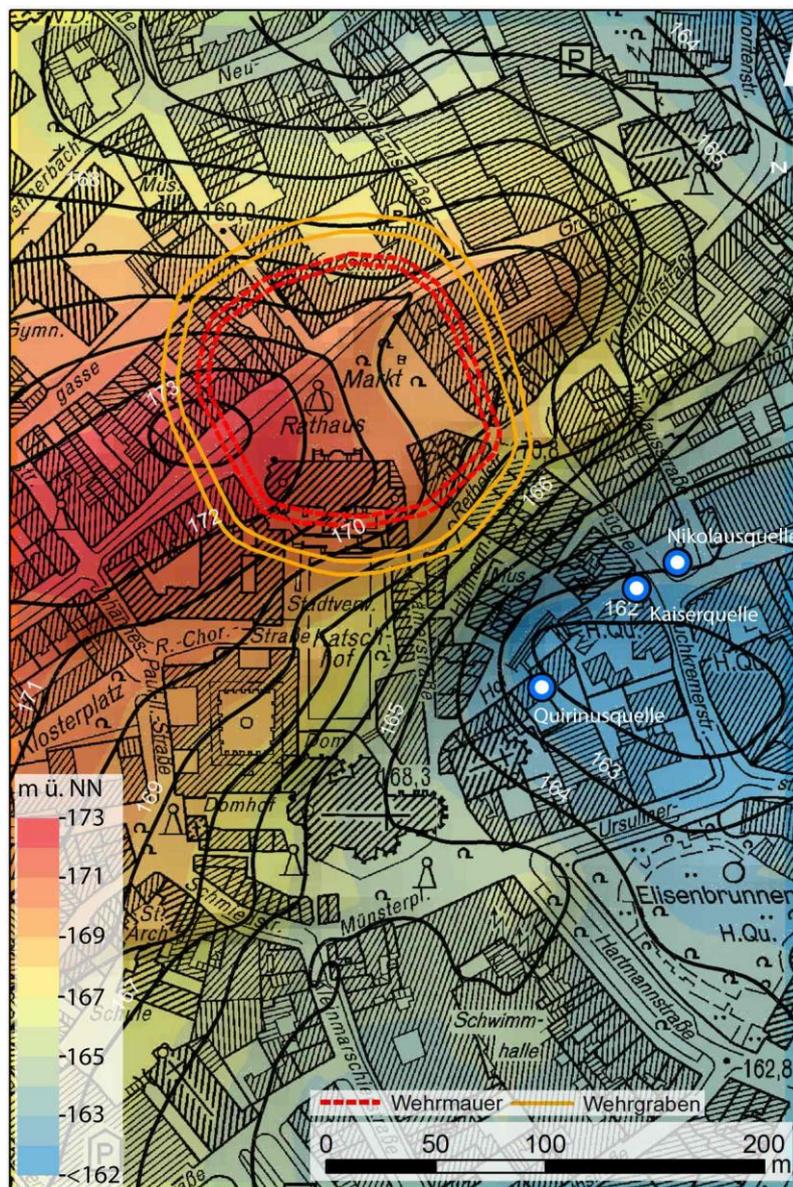


Abbildung 44: Spätromische Topographie des 4D-Untersuchungsgebiets mit dem vermuteten Verlauf der Wehranlage.

Die Höhenwerte bewegen sich jetzt zwischen 161,7 Meter im Bereich der Thermalquellen und 173,1 Meter auf dem Markthügel. In diesen beiden Bereichen wird auch der Unterschied zum vorausgehenden Paläorelief deutlich. Die in der Paläotopographie noch deutlich erkennbare Geländesenke ist im spätrömischen DGM als solche nicht mehr zu erkennen. Die Südostflanke des Markthügels hat sich bis an die Quellaustritte herangeschoben und somit die ursprüngliche Vertiefung vollständig aufgefüllt. An den jetzt weiter auseinanderliegenden Höhenlinien in Richtung Markthügel ist zu erkennen, dass das einstmals steile Gelände nun flacher ausgeprägt ist. Auf dem Markthügel ist eine allgemeine Erhöhung der Oberfläche feststellbar. Vor allem im südlichen und westlichen Bereich liegt die spätrömische Oberfläche bis zu 3 Meter über dem Paläorelief. Auf Abbildung 45 sind die Änderungen gegenüber der Paläooberfläche detaillierter zu erkennen.

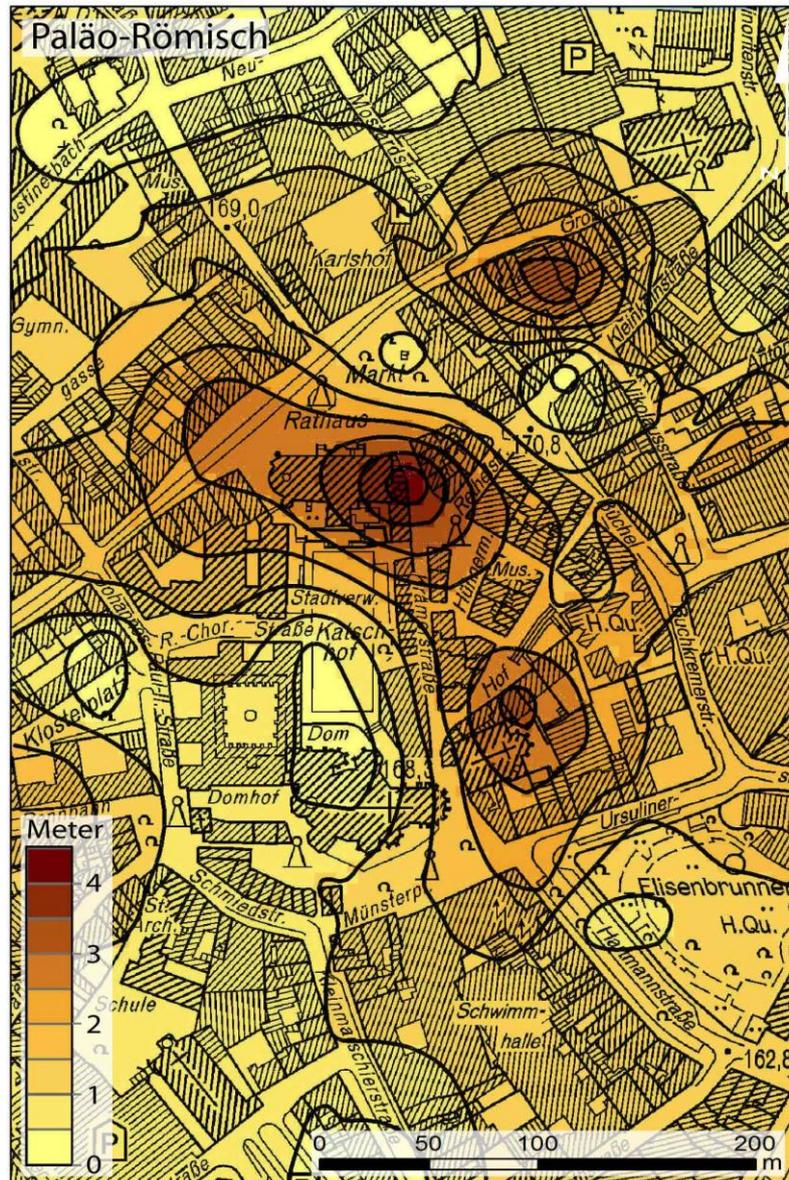


Abbildung 45: Geländezuwachs im Laufe der römischen Epoche.

Neben den Geländeerhöhungen im Bereich des Hofes und des südlichen/westlichen Markthügels, sind auf der Abbildung auch höhere Aufschüttungen im Nordosten nahe der Großkölnerstraße zu erkennen. Auch für die spätrömischen Schichtpakete bietet sich die Profildarstellung zur besseren Visualisierung an.

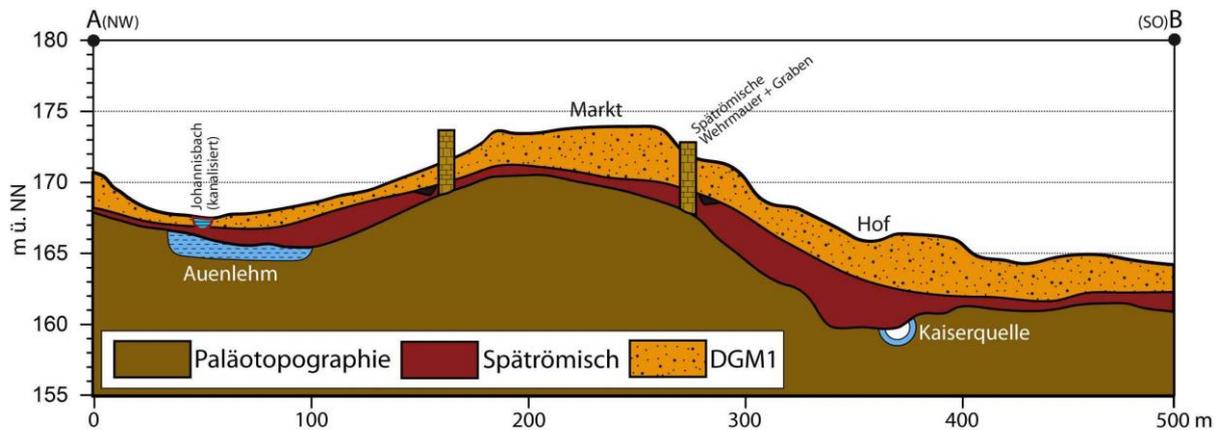


Abbildung 46: Querprofil der römischen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.

Im Querprofil der Abbildung 46 sieht man, dass die Mächtigkeit des römischen Schichtpakets im Bereich der Geländesenke mit ca. 4 Metern am größten ist. Das Profil verläuft über den östlichen Marktplatz, wo die Schichten mit maximal 1,5 Meter relativ gering sind. Aus dieser Kombination ergibt sich eine erste Verflachung des vormals starken Gefälles vom Markthügel in Richtung Quellbereich. Im Bereich der nordwestlichen Hügelflanke ist die römische Schicht mit etwa 2,4 Meter relativ mächtig, um dann im weiteren Verlauf bis zum Auenbereich und darüber hinaus auf fast 0 abzunehmen. Gleiches gilt für die südöstliche Richtung, wo jenseits des ehemaligen Senkenbereichs die römische Schicht mit maximal 1 Meter deutlich geringmächtiger wird.

In der Abbildung ist auch der (teilweise vermutete) Standort der Wehrmauer samt Graben zu sehen. Dieser verläuft im südöstlichen Bereich entlang einer sowohl im Paläorelief, als auch in der spätromischen Oberfläche noch erkennbaren Geländekante, und umfasst damit den hochgelegenen Bereich des Markthügels.

Abbildung 47 zeigt wieder das Längsprofil über den Markthügel mit der spätromischen Oberfläche.

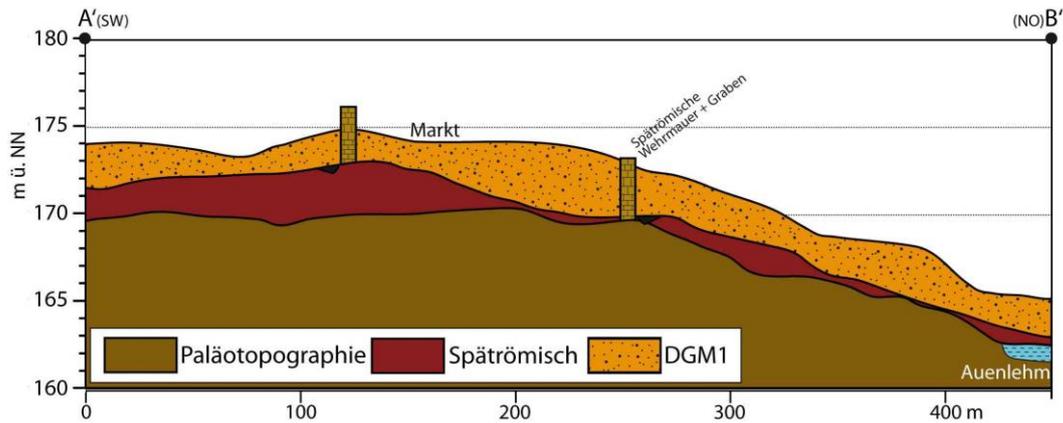


Abbildung 47: Längsprofil der römischen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb.40.

Hier ist der bereits in Abbildung 46 wahrnehmbare Bereich des westlichen Markthügels mit einer relativ mächtigen römischen Siedlungsschicht erkennbar. In diesem Bereich liegt die Schichtstärke bei bis zu 3 Metern, während sie im östlichen Marktbereich auf unter 1 Meter abnimmt. Auch hier sind die Standorte der Wehrmauer und der Gräben dargestellt. Diese befinden sich im westlichen Marktbereich am Punkt der höchsten Schichtmächtigkeit, während sie auf der östlichen Seite wieder an einer Geländekante liegen. Bemerkenswert ist hier, dass jenseits der Wehrmauer die Schichtstärke wieder auf bis zu 2 Meter ansteigt, um dann wiederum hangabwärts abzufallen.

6.5.3 Das mittelalterliche Relief

Wie bereits im Kapitel 5.2.4 beschrieben, konnten für das Mittelalter nur wenige Punkte ermittelt werden, die sich einer konkreten Zeitscheibe (1400 n. Chr.) zuordnen ließen. Diese konnten daher nicht zu einem DGM interpoliert, sondern nur als Profil dargestellt werden, das quer über den Markthügel verläuft. Aufgrund der Lage der Punkte (s. Abb. 17) musste aber ein leicht anderer Verlauf als für die Querprofile der anderen Zeitscheiben gewählt werden (für den Verlauf s. Abb. 40). Abbildung 48 zeigt das Profil der „Oberfläche 1400“ entlang dieses Verlaufs zusammen mit der Paläo- und der römischen Oberfläche.

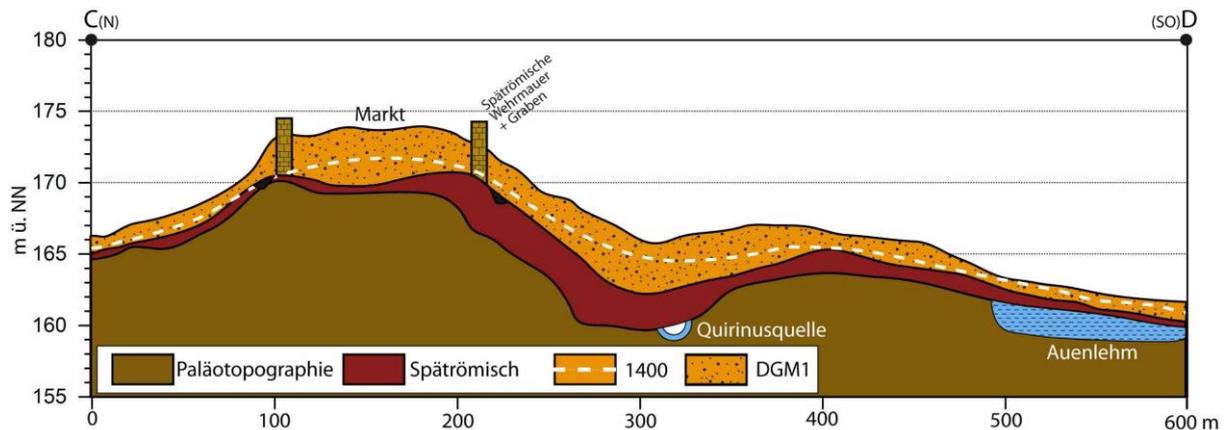


Abbildung 48: Querprofil der mittelalterlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.

Die Abbildung zeigt, dass die spätmittelalterliche Oberfläche in weiten Teilen mit der vorangegangenen römischen Topographie identisch ist. Vor allem im nördlichen Hangbereich des Markthügels sowie im weiteren südöstlichen Verlauf, jenseits des Quellbereichs, verläuft die Oberfläche 1400 nicht nur nahe der römischen, sondern auch nur unwesentlich unter der aktuellen Oberfläche. Die Höhenunterschiede dieser drei Oberflächen betragen in diesen Bereichen teilweise einen, maximal aber nur 2 Meter. Vor allem im Auenbereich ist nur ein geringer Geländezuwachs zu verzeichnen. Anders sieht es auf dem Markthügel und im Bereich der ehemaligen Senke aus. Hier kam es im Verlauf des Mittelalters zu einem nochmaligen Geländeauftrag von bis zu 2,5 Metern. Vor allem im Thermalquellenbereich wurde weiter aufgeschüttet.

Da es sich um einen anderen Profilverlauf als in Kapitel 6.4.1 handelt, wurde hier nochmals die spätromische Befestigungsanlage dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass auch entlang dieses Verlaufs die Mauer jeweils an einer markanten Geländekante der römischen Oberfläche errichtet wurde.

6.5.4 Das Neuzeitliche Relief

Die neuzeitliche Topographie wird repräsentiert durch ein DGM (s. Abb. 49), dass aus der Interpolation von Höhenpunkten aus dem „Markerhorizont“ des Stadtbrandes von 1656 gewonnen wurde.

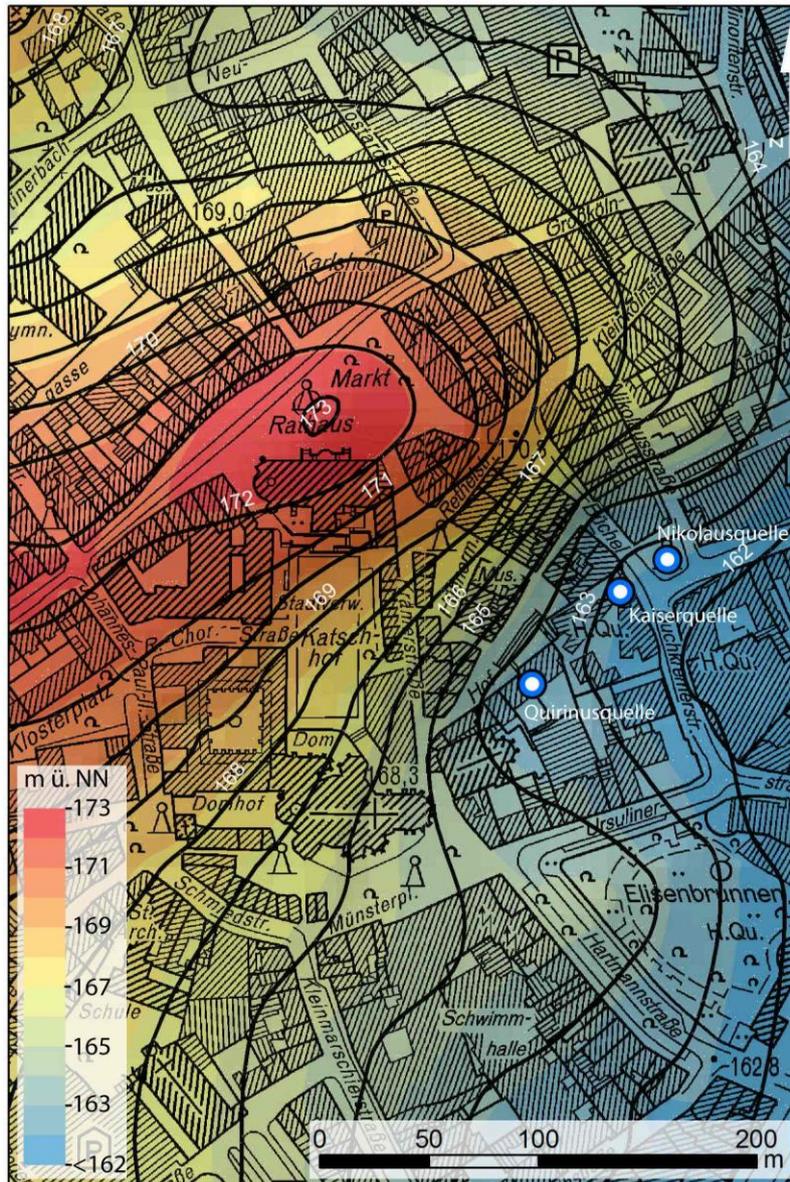


Abbildung 49: Neuzeitliche Topographie (1656) des 4D-Untersuchungsgebiets.

Die Höhenwerte des DGMs von 1656 bewegen sich zwischen 161,2 Meter östlich der Quellaustritte und 173,1 Meter im Zentrum des Marktplatzes. Damit sind diese Maximal- bzw. Minimalwerte nahezu identisch mit den Werten des spätrömischen DGMs. Das DGM lässt erkennen, dass es zwar zu keiner Zunahme in der Maximalhöhe des Markthügels kam, aber sehr wohl zu weiteren Geländeerhöhungen auf dem Marktplatz. Das Wachstum der anthropogenen Schichten hat sich vom westlichen Markthügelbereich in den östlichen Bereich verlagert. Ebenso wurde der Hangbereich zu den Thermalquellen weiter aufgehöhht. Dagegen ist im Bereich der Niederung östlich der Quellen keine

weitere Erhöhung festzustellen. Abbildung 50 verdeutlicht zusätzlich das Wachstum der Siedlungsschichten gegenüber der spätrömischen Oberfläche.

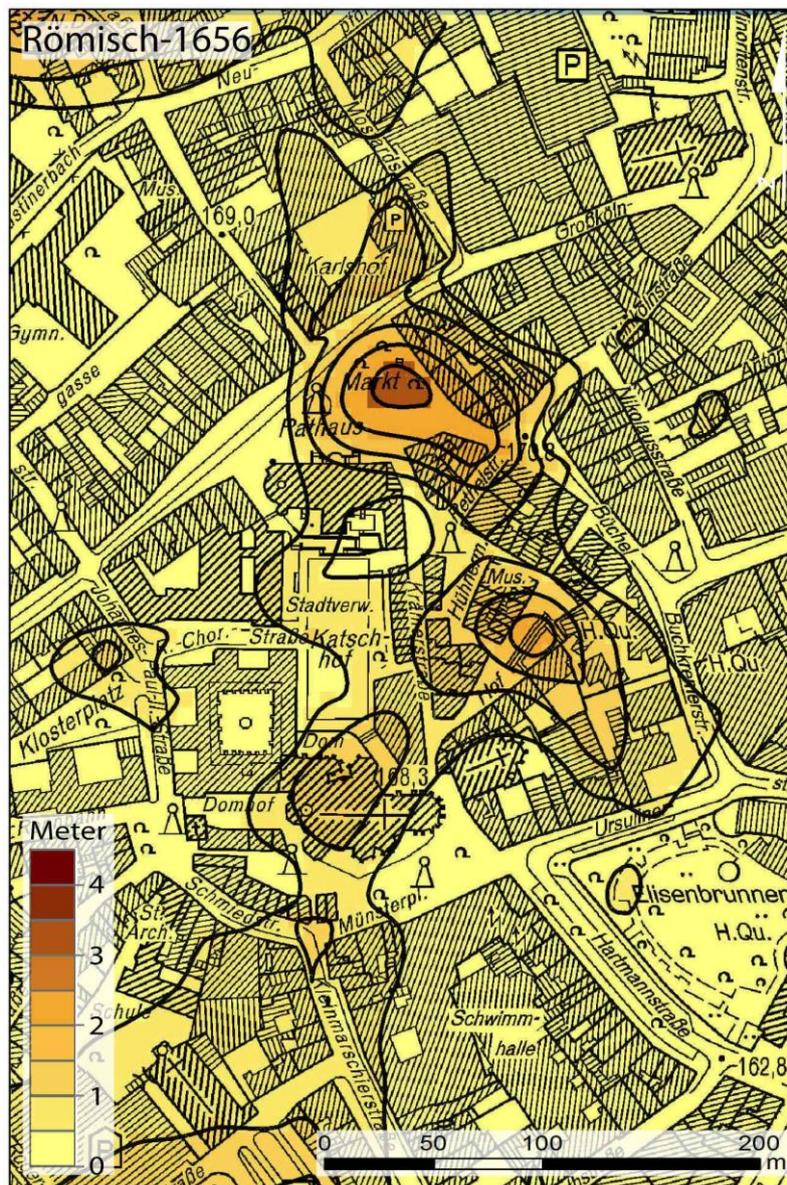


Abbildung 50: Geländezuwachs zwischen der römischen Besiedlung und dem Jahr 1656.

Die Abbildung zeigt die Veränderungen bzw. das Anwachsen der Topographie im Zeitraum zwischen der römischen Besiedlung und dem Jahr 1656. Dieser Zeitraum umfasst damit auch das gesamte Mittelalter. Deutlich ist hier zu erkennen, dass es zu einem Anwachsen der Oberfläche um ca. 3,5 Meter im zentralen und östlichen Bereich des Marktes gekommen ist. Während die römischen Schichten noch im westlichen Bereich zu einer Geländeerhöhung geführt haben, wurde der Markthügel im Laufe des Mittelalters, spätestens

jedoch in der frühen Neuzeit in westlicher Richtung erweitert bzw. aufgeschüttet. Die Abbildung verdeutlicht auch das weitere Anwachsen der Siedlungsschichten im Bereich des Hofes.

Abbildung 51 zeigt wieder das Querprofil über den Markthügel, diesmal zusammen mit der Oberfläche von 1656.

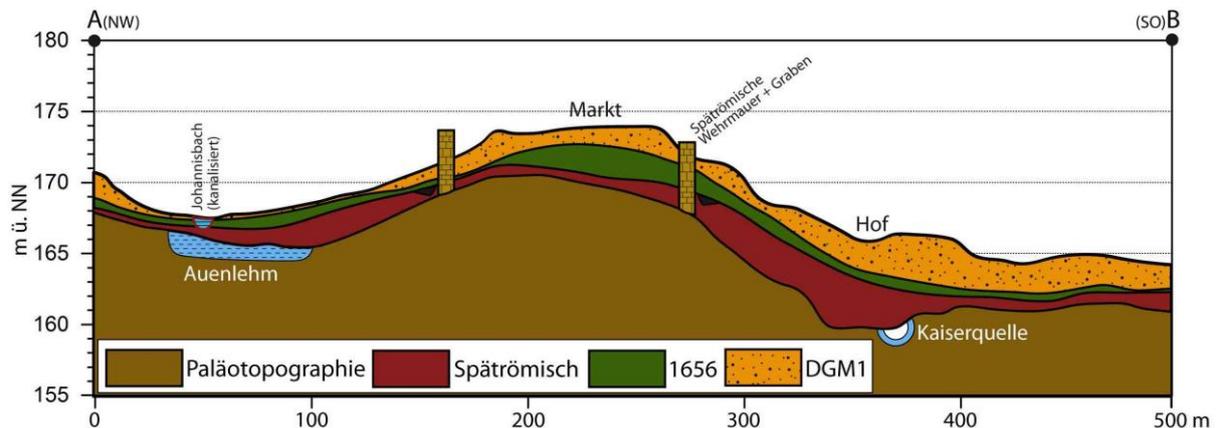


Abbildung 51: Querprofil der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.

Aus dem Querschnitt wird die starke mittelalterlich/frühneuzeitliche Geländeerhöhung im östlichen Marktplatz ersichtlich. Da das Profil über den östlichen Bereich des Marktes verläuft, sind die römischen Schichten hier nur gering ausgeprägt. Die relativ starke Erhöhung des Hofbereichs wird in dieser Abbildung nicht ersichtlich, da das Profil nordöstlich der starken Anschüttungen verläuft. Anders in Abbildung 52, die den alternativen Querprofilverlauf mit der Oberfläche von 1400 zeigt.

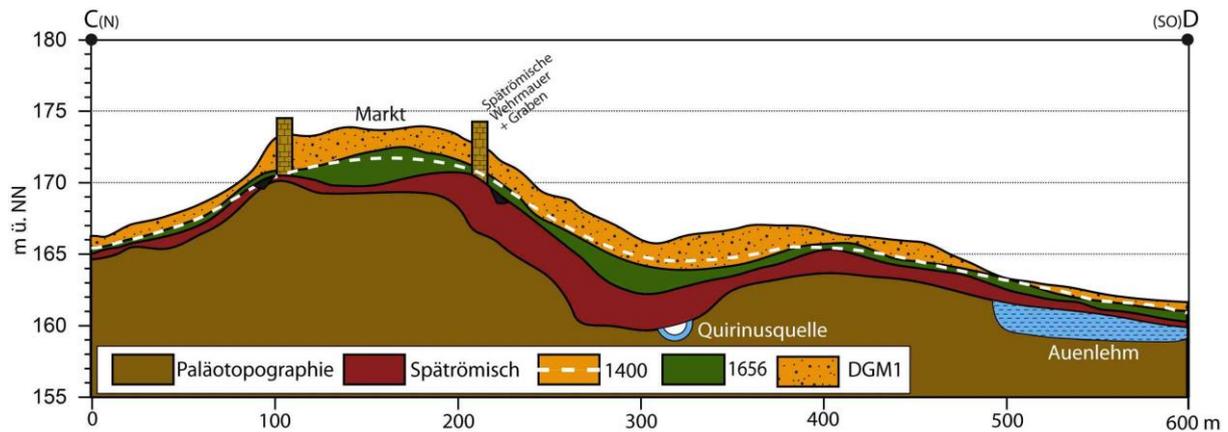


Abbildung 52: Querprofil (alternativer Verlauf) der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.

Im Bereich der Thermalquellen sind hier die relativ starken anthropogenen Schichten unterhalb der Oberfläche von 1656 zu erkennen. Genauso wie in Abbildung 48 ist zu sehen, wie die frühneuzeitlichen, aber auch die römische sowie die rezenten Schichten in Richtung des Auenbereichs auf jeweils deutlich unter einen Meter abnehmen. Interessanterweise verläuft die „Oberfläche 1400“, zumindest entlang dieses Profils, nahezu auf demselben Niveau wie die Topographie von 1656. Dies lässt den Schluss zu, dass sich die anthropogenen Schichten, die die Oberfläche von 1656 bilden, bereits größtenteils im Mittelalter akkumuliert haben. Dies bedeutet, dass es zwischen dem Übergang vom 14. auf das 15. Jahrhundert und dem Jahr 1656 zu keinen größeren Geländeänderungen mehr kam.

Abbildung 53 zeigt das Längsprofil über den Markthügel mit der Geländeoberfläche von 1656.

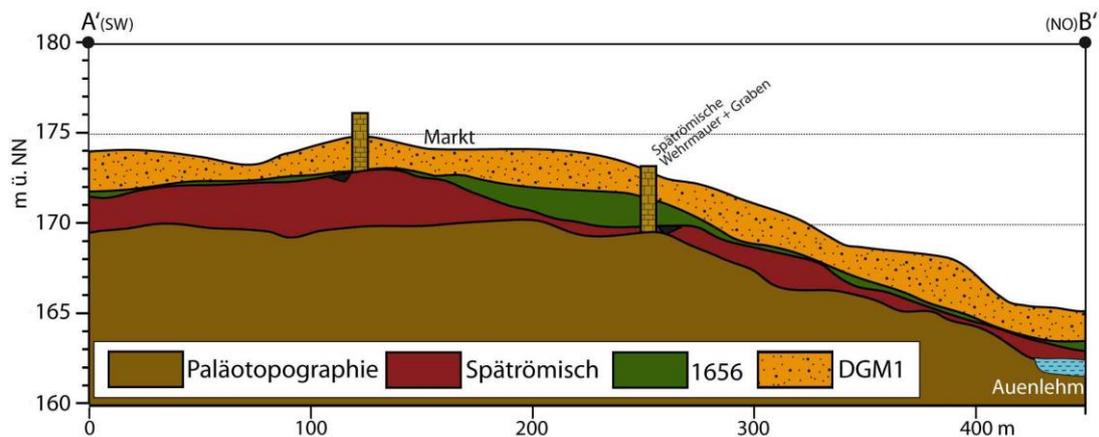


Abbildung 53: Längsprofil der Neuzeitlichen Oberfläche durch das 4D-Untersuchungsgebiet. Für den Verlauf s. Abb. 40.

Hier wird nochmals der Wechsel der anthropogenen Schichten von „römisch“ im westlichen Teil, zu „mittelalterlich/frühneuzeitlich“ im östlichen Teil des Marktes deutlich. Allerdings ist nur der höher gelegene Teil des Markthügels von den Anschüttungen betroffen. Hangabwärts, in nordöstlicher Richtung, geht die Schichtmächtigkeit auf unter einen Meter zurück.

6.5.5 Das moderne Relief

Die moderne Geländeoberfläche wird im Folgenden durch zwei DGMS repräsentiert. Zum einen natürlich durch die rezente Oberfläche (DGM1, s. Kap. 5.1.4), die aus den LiDAR-Daten erstellt wurde. Zum anderen konnte aus einer topographischen Karte eine Oberfläche aus der Zeit um 1939 interpoliert werden (s. Kap. 5.1.3)

Da die Oberfläche des DGM1 als Referenzoberfläche für die Tiefenwertbestimmungen (s. Kap. 5.2.8), sowie als Vergleichsoberfläche für die anthropogenen Schichten herangezogen wurde, wird sie hier der Vollständigkeit halber für den Ausschnitt der 4D-Analyse dargestellt (s. Abb. 54).

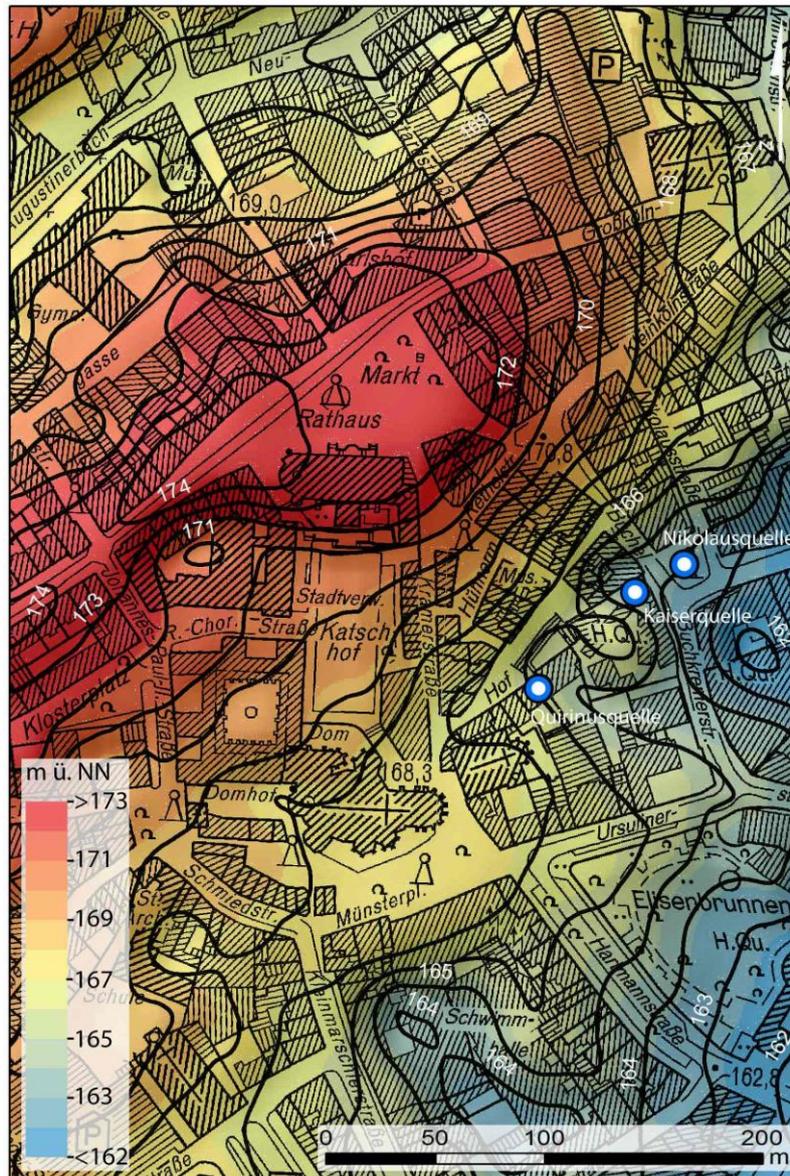


Abbildung 54: Rezente Oberfläche des 4D-Untersuchungsgebiets.

Die rezente Oberfläche erstreckt sich über einen Höhenbereich von 161,3 m ü. NN im Bereich östlich der Quellen bis zu 174,7 m ü. NN im westlichen Bereich des Marktplatzes. Im Gegensatz zu den Oberflächen der vorherigen Zeitscheiben lässt sich eine deutliche Ausdehnung des Markthügels in nordöstliche Richtung erkennen. Der Quellbereich sowie das Areal südlich davon sind ebenfalls deutlich angewachsen.

Abbildung 55 zeigt den Zuwachs des Geländes gegenüber der Oberfläche von 1656.

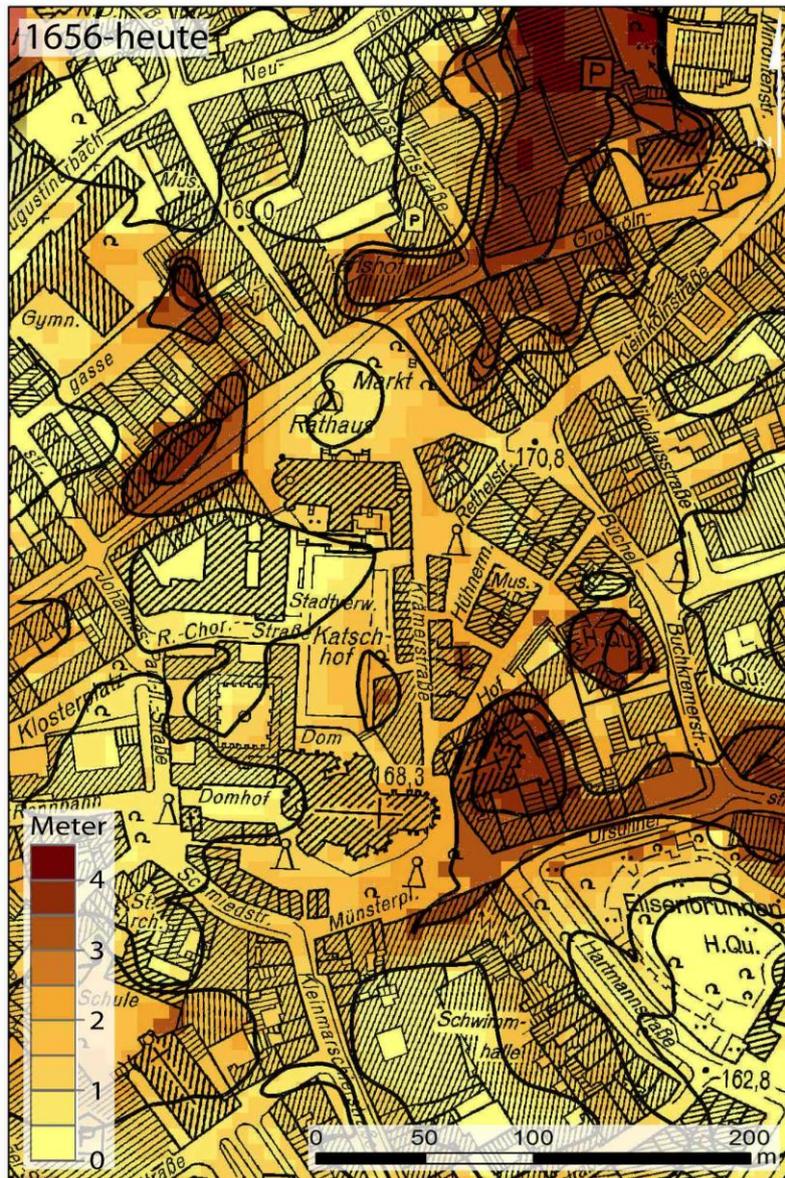


Abbildung 55: Geländezuwachs seit dem Jahr 1656.

Auf der Abbildung ist deutlich das Anwachsen des Markthügels in nördliche und nordöstliche Richtung seit 1656 zu erkennen. In diesem Gebiet ist das Gelände um bis zu 4,5 Meter angewachsen. Bis auf einen kleineren Bereich im westlichen Marktplatzbereich, weisen die höheren Lagen des Markthügels eine eher geringe zusätzliche Erhöhung auf. Die größten Erhöhungsbereiche liegen hier an den Flanken des Markthügels. Vor allem zwischen dem Hof, der vor allem im östlichen Bereich um fast 4 Meter erhöht wurde, und dem Eisenbrunnen sind die anthropogenen Schichten stark angewachsen.

Auf eine erneute Darstellung der Profilschnitte wird an dieser Stelle verzichtet, da der Schichtaufbau in seiner Gesamtheit zusammen mit der rezenten Oberfläche bereits auf den Profilabbildungen im vorherigen Kapitel 6.5.4 ersichtlich ist (s. Abb. 51, 52, 53).

Da der Zeitraum, in dem die Siedlungsschichten seit 1656 akkumuliert wurden, ca. 350 Jahren umfasst, wurde eine weitere Oberfläche herangezogen, um die Geländeänderung in diesem Zeitraum weiter eingrenzen zu können. Abbildung 56 zeigt die rekonstruierte Oberfläche aus den Höhenlinien von 1900 aus der topographischen Karte.

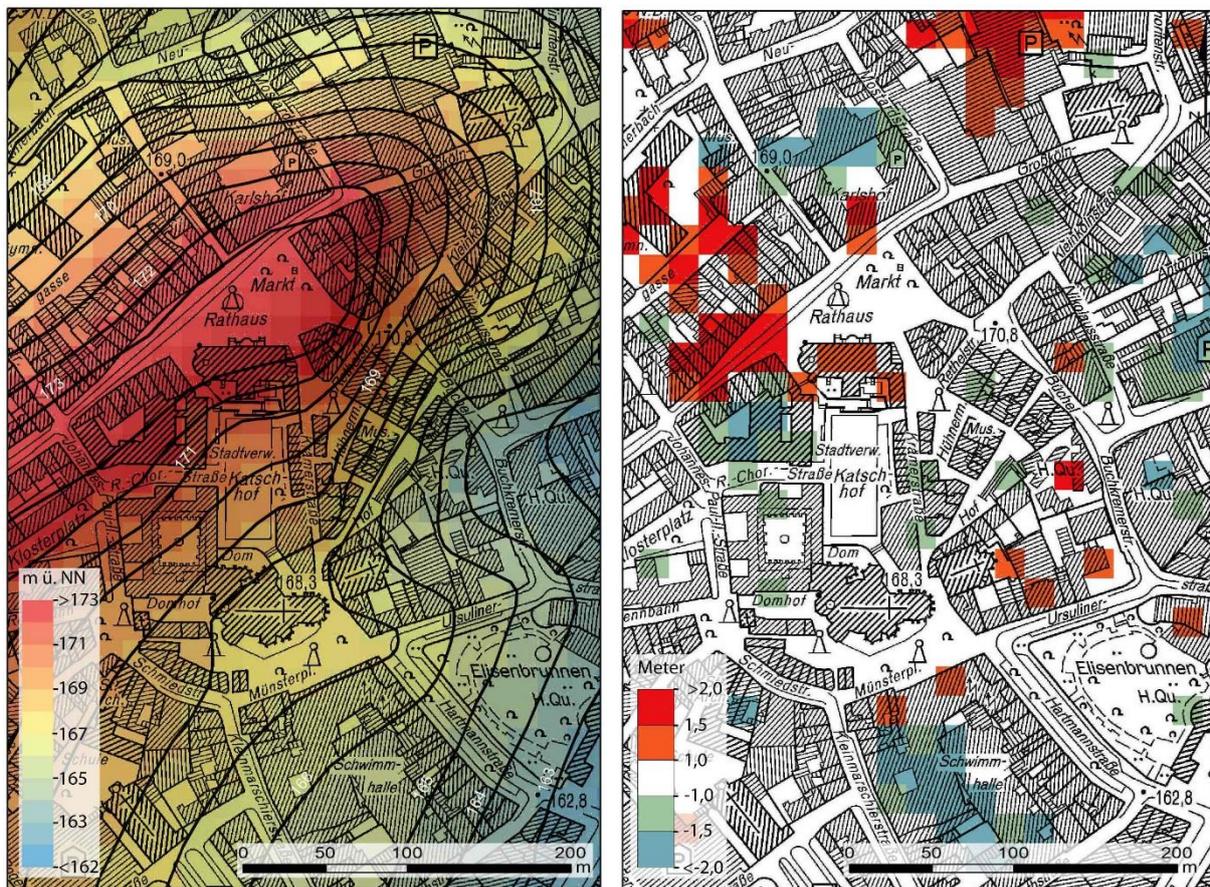


Abbildung 56: Topographie des Jahres 1900 (links) und deren Differenz zur rezenten Oberfläche (rechts).

Die Abbildung zeigt außerdem die Differenz zwischen der „Oberfläche 1900“ und der rezenten Oberfläche des LiDAR-DGM1. Die Differenzdarstellung zeigt, dass weite Teile des 4D-Untersuchungsgebiets nur geringe Abweichungen zwischen den Oberflächen aufweisen. Ausnahmen bilden die Bereiche am westlichen Marktplatz und im nördlichen Hangbereich des Markthügels.

Hier liegt die rezente Oberfläche jeweils bis zu 1,9 Meter über der „Oberfläche 1900“. Demgegenüber liegen die Werte im Bereich südlich des Doms teilweise fast 2 Meter unter der rezenten Oberfläche. In beiden Fällen dürften diese punktuellen starken Abweichungen an Ungenauigkeiten bzw. Generalisierungen der Höhenlinien der Topographischen Karte liegen. Es wird daher von einer weitgehend identischen Oberfläche zwischen den beiden Zeitscheiben ausgegangen. Dies führt wiederum zu der Schlussfolgerung, dass das Höhenwachstum zwischen der „Oberfläche 1656“ und dem rezenten DGM (s. Abb. 55) größtenteils vor dem Jahr 1900 stattgefunden hat.

6.5.6 Volumen der anthropogenen Schichten

Neben den kartographischen- und Profildarstellungen der anthropogenen Schichten, zeigt vor allem auch die Zunahme des Volumens das vertikale Wachstum des historischen Stadtzentrums.

Abbildung 57 zeigt die Schichten, die sich in den einzelnen Zeitscheiben auf dem 4D-Untersuchungsgebiet akkumuliert haben.

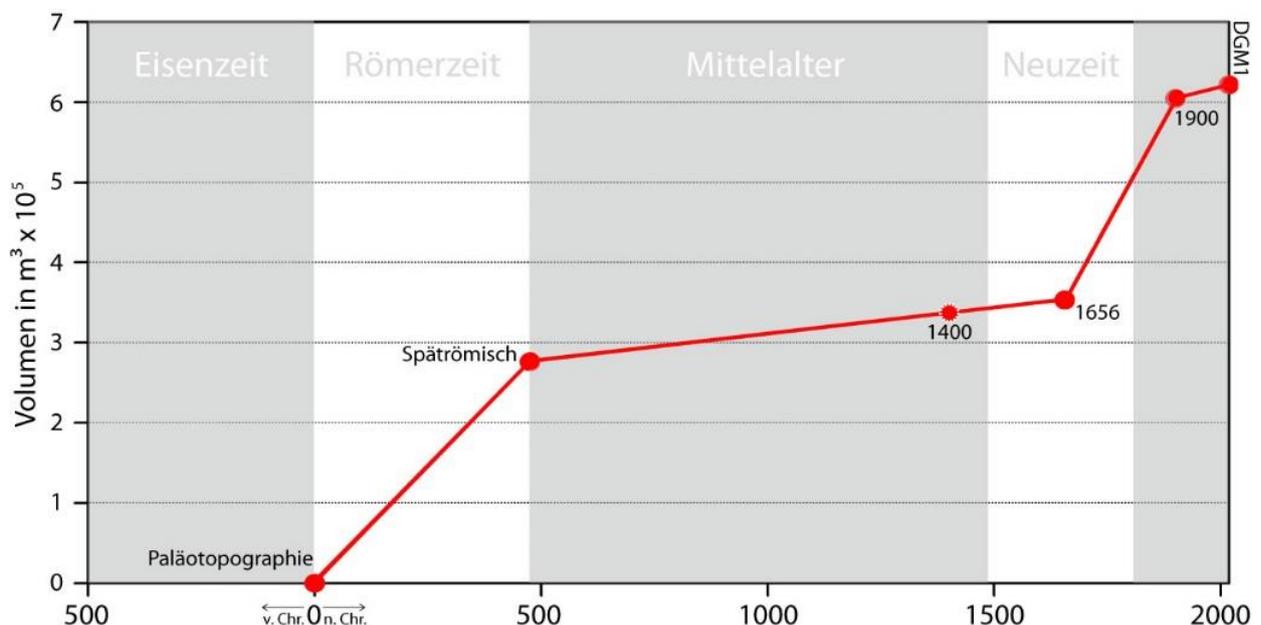


Abbildung 57: Volumenzuwachs der anthropogenen Schichten im 4D-Untersuchungsgebiet in akkumulierter Darstellung.

Ausgangspunkt für die Volumenberechnung ist das vorrömische Paläorelief am Ende der Eisenzeit. Das Volumen hat mit Beginn der römischen Besiedlung stetig zugenommen und am Ende der römischen Periode einen Wert von 276.000 m³ erreicht. Zwischen dem Ende der römischen Siedlungsphase und dem Jahr 1656 kam es mit 77.151 m³ nur noch zu einem relativ geringen Volumenzuwachs. Da für das Jahr 1400 keine Flächeninformationen vorlagen, konnten hierfür auch keine Volumina bestimmt werden. Das Jahr wurde allerdings trotzdem in die Abbildung aufgenommen, da hierdurch ersichtlich wird, dass das potentielle Volumen des Jahres 1400 sehr nah am berechneten Volumen von 1656 liegt. Dies deckt sich mit dem Geländeprofil des Jahres 1400 (s. Abb. 48), welches ebenso nur einen geringen Unterschied zwischen den beiden Zeitscheiben zeigt. Für den Zeitraum zwischen 1656 und der rezenten Oberfläche steigt das Volumen nochmals mit insgesamt 268.723 m³ stark an. Hier wurde die Oberfläche von 1900 zwischengelegt, um diesen Zeitabschnitt nochmals unterteilen zu können. Auch hier zeigt sich, dass ein Großteil des Volumenzuwachses zwischen 1656 und 1900 stattgefunden hat. Die Differenz zwischen der Oberfläche 1900 und dem aktuellen DGM1 beträgt nur noch 17.090 m³.

In Tabelle 13 sind sowohl die Volumina der einzelnen Zeitabschnitte, als auch deren kumulierte Werte zusammengefasst. Darüber hinaus sind die Maximal- und Durchschnittswerte der jeweiligen Schichtdicken sowie die Standardabweichung aufgeführt.

Tabelle 13: Volumen der anthropogenen Schichten im 4D-Untersuchungsgebiet.

Zeitraum	max. Dicke	Ø Dicke	SD Dicke	Volumen	kum. Vol.
Paläo - Spätromisch	4,40 m	1,34 m	0,68 m	276.000 m ³	276.000 m ³
Spätromisch - 1656	2,67 m	0,58 m	0,86 m	77.151 m ³	353.151 m ³
1656 - 1900	5,05 m	1,03 m	1,35 m	251.633 m ³	604.784 m ³
1900 - rezent	2,97 m	0,11 m	0,86 m	17.090 m ³	621.874 m ³

Die Zusammenfassung zeigt, dass die Zeiträume mit hohem Volumenzuwachs ebenfalls die größten Maximalwerte in der Schichtdicke aufweisen. Der auffallend hohe Maximalwert von fast 3 Meter im Zeitraum „1900-rezent“ ist vermutlich auf Ungenauigkeiten in der topographischen Karte, welche der Oberflächenmodellierung zugrunde liegt, zurückzuführen.

6.6 Verlagerung von Trümmerschutt des 2. Weltkriegs

Nach der Rekonstruktion der anthropogenen Schichten des historischen Innenstadtbereichs (s. Kap. 6.4.1), waren einige Bereiche mit unerwartet hoher Schichtmächtigkeit außerhalb der Stadtmauern sichtbar geworden. Diese konnten als Verfüllungen der alten Stadtgräben identifiziert werden (s. Abb. 35 und 36). Allerdings waren auf der Schichtkarte des gesamten Stadtgebiets ebenfalls solche Bereiche mit hohen Werten zu erkennen (s. Abb. 37), für die eine solche Interpretation nicht in Frage kam.

Hier lag der Verdacht nahe, dass es sich um Trümmerschutt handelt, der während und kurz nach dem Zweiten Weltkrieg innerhalb des Stadtgebiets verlagert wurde. Um diese potentiellen Trümmerschuttbereiche zu separieren, wurde die Karte der rekonstruierten anthropogenen Schichten nochmals mit den Flächen der Siedlungsentwicklung, sowie zusätzlich mit dem Verlauf des ehemaligen Aachener Straßenbahnnetzes, verschnitten (s. Abb. 58).

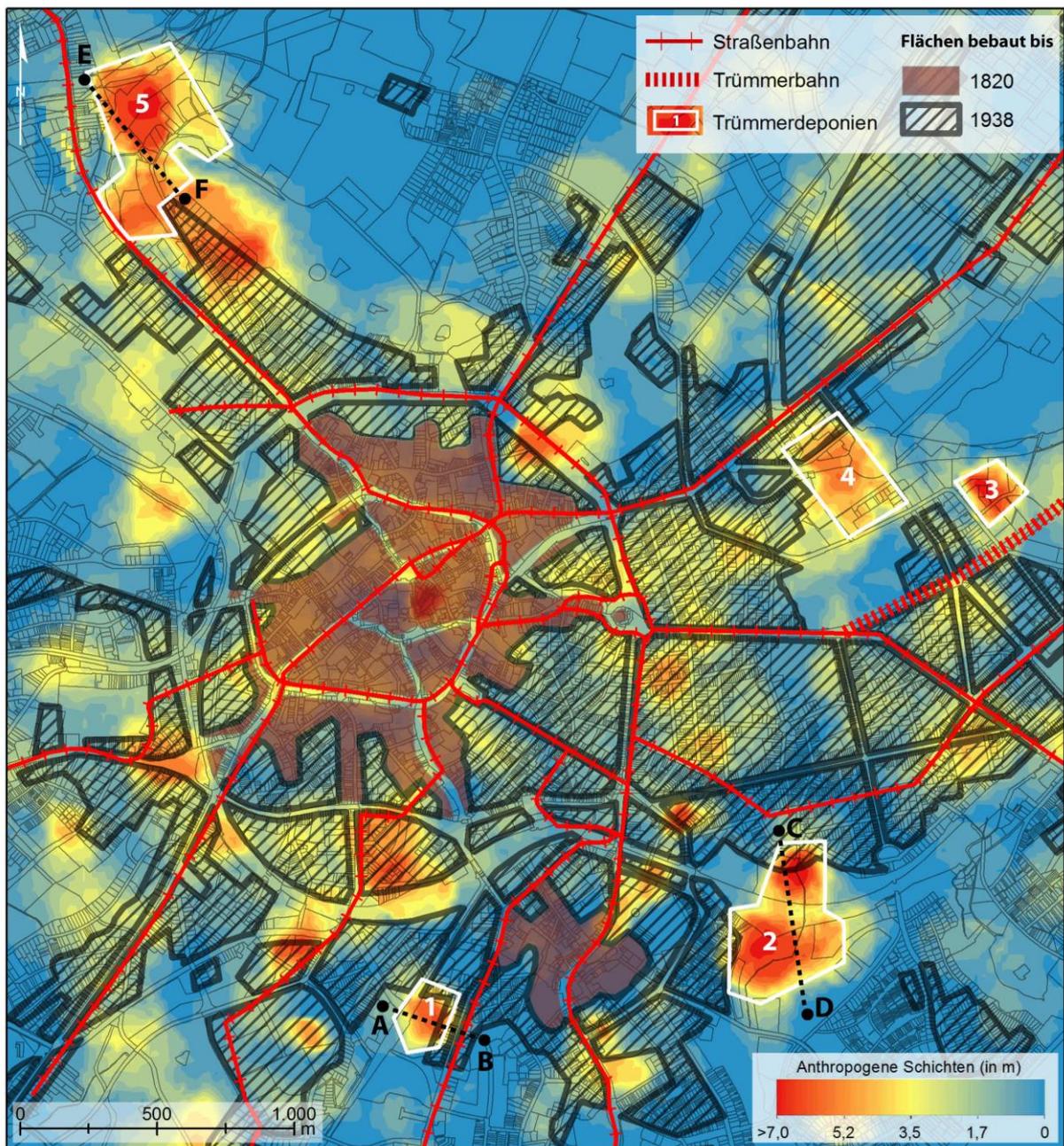


Abbildung 58: Potentielle Bereiche mit Trümmerschutt. Für die Profile s. Abb. 62, 63 und 64.

Die Karte zeigt als Grundlage die rekonstruierten anthropogenen Schichten. Darüber liegen die Siedlungsflächen die bis 1938, kurz vor dem Ausbruch des Krieges, bebaut waren. Da der Trümmerschutt innerhalb dieser Flächen anfiel und dann größtenteils nach außerhalb verbracht wurde (DEUBNER 2008) mussten die Schutthalden außerhalb der Siedlungsflächen zu finden sein. Darüber hinaus zeigt die Karte das Straßenbahnnetz in seiner maximalen Ausdehnung

vor dem Krieg. Für den Abtransport wurden die so genannten Trümmerbahnen genutzt, die wiederum teilweise den Schienenverlauf der Straßenbahnen nutzten (DEUBNER 2008; HERWALD ET AL. 2013). Als potentielle Trümmerschuttdeponien wurden daher die Bereiche ausgewählt, die mächtige anthropogene Schichten aufweisen und gleichzeitig außerhalb des Siedlungsbereichs von 1938, sowie in der Nähe der Straßenbahntrassen, liegen. Insgesamt konnten fünf solcher Bereiche separiert werden.

Um die potentiellen Trümmerhalden von anderen, früheren Geländeänderungen unterscheiden zu können, wurde eine topographische Karte aus dem Jahr 1939 herangezogen, um aus dieser Höhenlinien zu digitalisieren und daraus dann ein DGM zu interpolieren (s. Kap. 5.2.2).

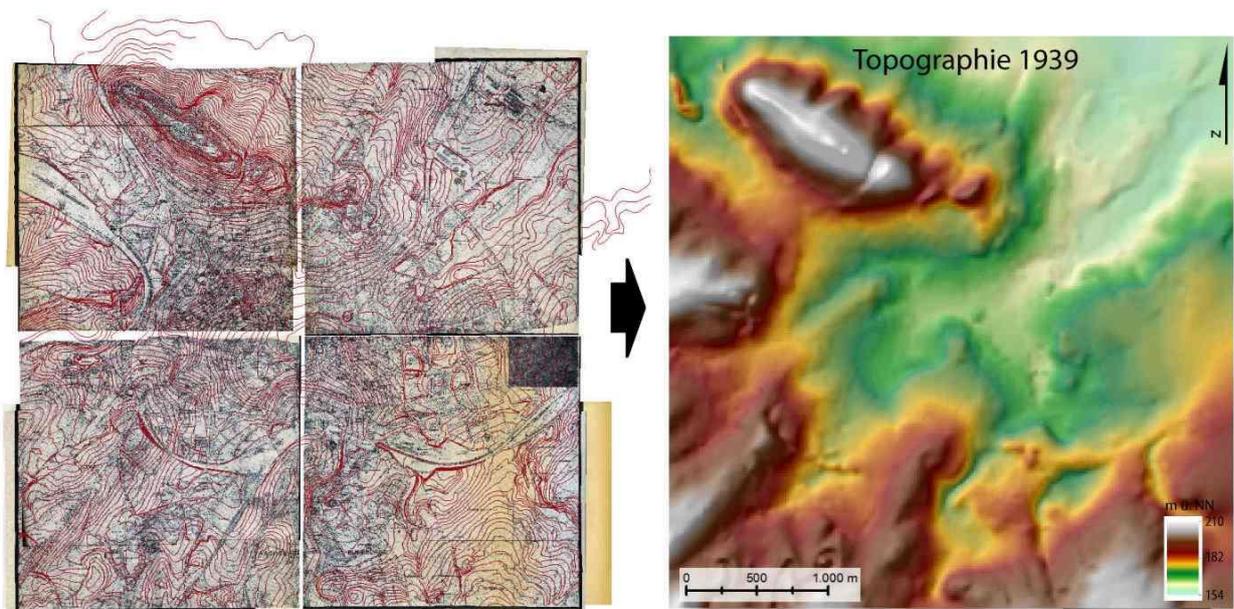


Abbildung 59: Topographische Karte von 1939 mit digitalisierten Höhenlinien (links) und das daraus abgeleitete Höhenmodell.

In Abbildung 59 ist die Kartengrundlage mit den Höhenlinien, sowie das daraus resultierende digitale Geländemodell zu sehen. Letzteres wurde herangezogen, um im Vergleich mit dem DGM der rezenten Geländeoberfläche Veränderungen des Geländes seit Jahr 1939 zu visualisieren.

Hierfür wurde die Differenz zwischen den beiden Oberflächen (rezent und 1939) berechnet. Abbildung 60 zeigt das Ergebnis dieser Berechnung.

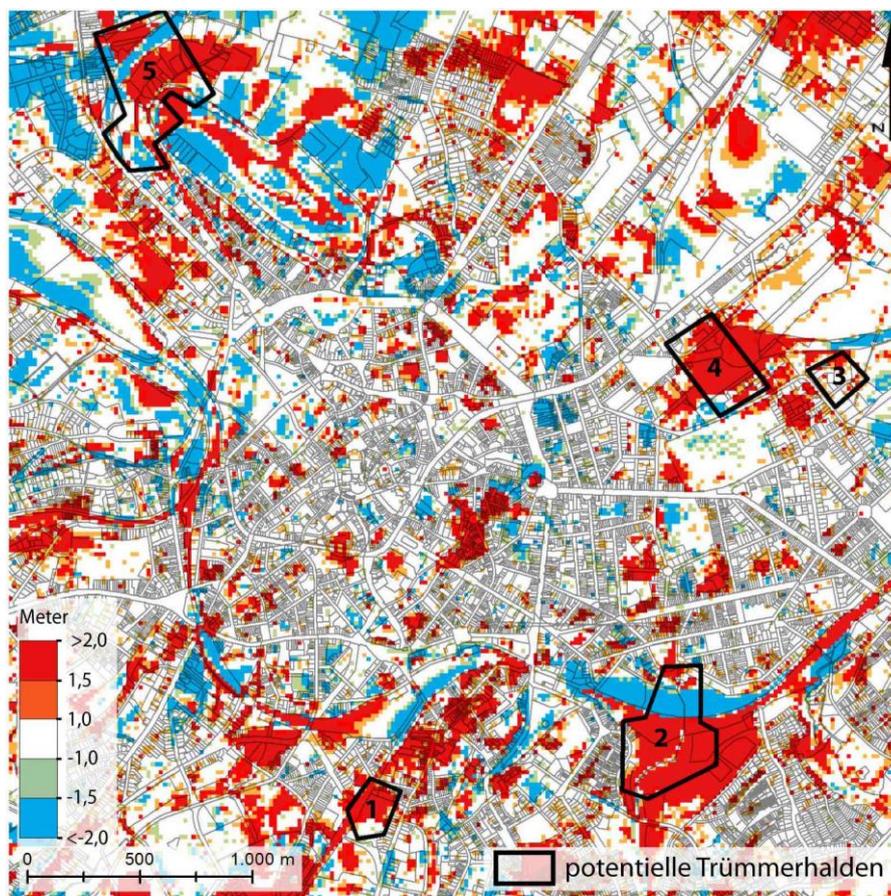


Abbildung 60: Differenz (Geländezuwachs bzw. -abtrag) zwischen der Oberfläche von 1939 und dem rezenten DGM.

Auf der Abbildung ist die Differenz der Geländehöhe zwischen der Oberfläche von 1939 und dem rezenten DGM in Meter dargestellt. Ein Großteil des Gebiets weist eine nur geringe Differenz (unter +/- 1 m) zwischen den beiden Oberflächen auf (als weiße bzw. farblose Signatur auf der Karte dargestellt). Insbesondere im historischen Stadtkern sowie den Stadtvierteln östlich davon sind die Abweichungen tendenziell gering. Demgegenüber stehen Bereiche mit extrem hohen Abweichungen von mehreren Metern. Die rote Signatur markiert Bereiche, in denen die heutige Oberfläche über der von 1939 liegt. Tatsächlich liegen die Areale, die im Vorfeld als Trümmerdeponien eingestuft wurden (s. Abb. 58), fast alle innerhalb dieser roten Bereiche. Eine Ausnahme stellt lediglich Areal Nr. 3 dar. Dieses kann daher nur unter Vorbehalt als Trümmerhalde angesprochen werden.

Neben Bereichen mit Geländezuwachs seit 1939 (rote Bereiche) sind auf der Abbildung auch Flächen zu erkennen, auf denen es offenbar zu einem Abtrag der Oberfläche gekommen ist (blau markiert).

Um die Geländeentwicklung im Bereich der potentiellen Trümmerhalden besser zu verstehen, wurden für drei der Schutthalden Geländequerprofile angelegt. Auf diesen ist jeweils, neben der Paläooberfläche, auch die Oberfläche von 1939 sowie das rezente Gelände dargestellt. Der Verlauf der jeweiligen Profile ist in Abbildung 58 dargestellt.

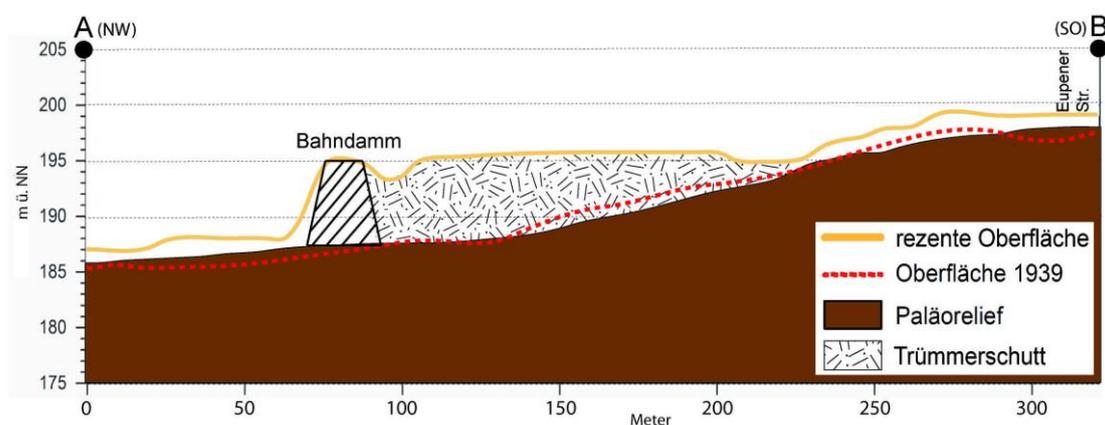


Abbildung 61: Profil der Trümmerhalde Nr. 1 (Eupener Straße).

Abbildung 61 zeigt das Aufschüttungsgebiet nordwestlich der Eupener Straße (Nr. 1 in Abb. 58). Hier liegen alle drei dargestellten Oberflächen sowohl im Bereich der Eupener Straße als auch nordwestlich des Bahndamms (19. Jh.) nahe beieinander. Insbesondere die Oberfläche von 1939 verläuft hier nahezu identisch mit der Paläooberfläche. Das heißt, hier kam es bis zum Krieg zu keiner Veränderung des Geländes. Erst danach scheint das abschüssige Gelände genutzt worden zu sein, um den Trümmerschutt von der erhöhten Position der Eupener Straße aus, an der auch die Straßenbahngleise verliefen, in die Senke zwischen Straße und Bahndamm zu kippen.

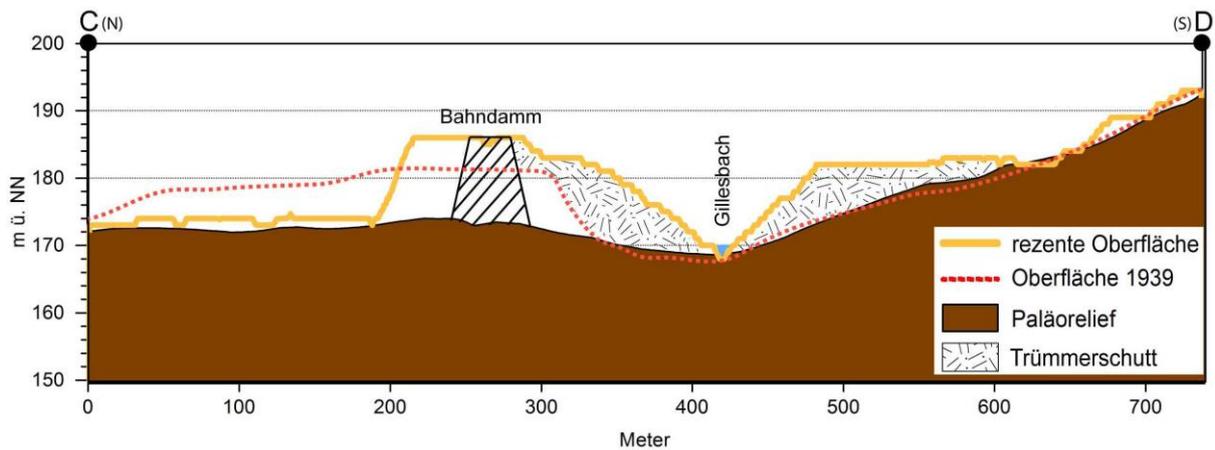


Abbildung 62: Profil der Trümmerschutthalde Nr. 2 (Gillesbach).

Abbildung 62 zeigt die Trümmerhalde im Gillesbachtal (Nr. 2 in Abb. 58). Die Oberfläche von 1939 verläuft südlich des Bahndamms aus dem 19. Jh. ebenfalls fast identisch mit der Paläooberfläche. Somit wurde auch hier das Gelände erst nach dem Krieg an den beiden Seiten des Gillesbachs aufgeschüttet. Hervorzuheben ist an diesem Profil, dass im Bereich nördlich des Bahndamms die heutige Oberfläche ca. 3 m unter der von 1939 liegt. Hier befand sich bis in die 1990er Jahre der Güterbahnhof Moltkestraße (KELLER 2019), auf dessen Areal anschließend eine Parkanlage sowie eine Schule errichtet wurde. In Zuge dieses Rückbaus kam es vermutlich zu dem im Profil sichtbaren Geländeabtrag. Dieser ist auch auf Abbildung 60 als blaue Fläche zu erkennen.

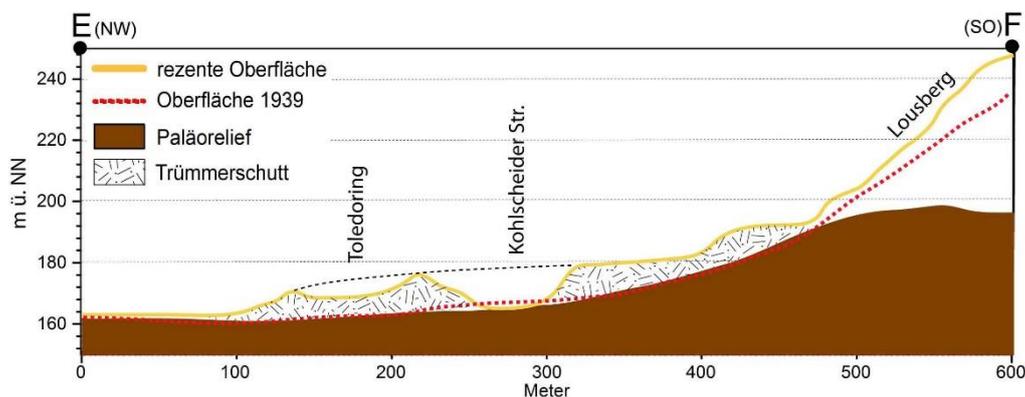


Abbildung 63: Profil der Trümmerschutthalde Nr. 5 (Roermonder Straße).

Die gestrichelte Linie zeigt die ehemalige Haldenoberfläche vor dem Abtrag für den Straßenbau.

Auf Abbildung 63 ist die Trümmerdeponie an der Roermonder Straße (Nr. 5 in Abb. 58) zu sehen. Hier ist ebenso wie auf den vorherigen Profilen zu sehen,

dass die Oberfläche von 1939 zu weiten Teilen nahezu identisch zum aktuellen Relief verläuft. Auch hier kam es also bis nach dem Krieg zu keinen anthropogenen Geländeänderungen. Darüber hinaus liegt auch die rezente Oberfläche auf den ersten 100 m des Profils auf demselben Niveau wie die beiden anderen Oberflächen. Dieser Abschnitt repräsentiert weite Teile des Aachener Kessels außerhalb des historischen Innenstadtbereichs, auf denen bis heute keine Bautätigkeiten stattgefunden haben (s. blauen Bereiche in Abb. 37). Die Trümmerschutthalde ist deutlich im Bereich zwischen 100 m und 500 m am Fuß des Lousbergs zu erkennen. Die zwei Straßen, die innerhalb des Haldenbereichs liegen, wurden erst nach der Ablagerung des Schutts gebaut. Es ist daher davon auszugehen, dass die ursprüngliche Halde (in der Abbildung als gestrichelte Linie dargestellt) für den Bau der Straßen wieder teilweise abgetragen wurde.

Der Profilabschnitt ab 500 m zeigt eine starke Abweichung zwischen der Paläooberfläche einerseits, und der rezenten und 1939er Oberfläche andererseits. Dies ist auf die geringe Punktdichte an Daten für die Paläoreliefrekonstruktion im Bereich des Lousbergs zurückzuführen (s. Abb. 9), wodurch dieser im Paläo-DGM nicht korrekt modelliert werden konnte.

Um die Größe der Schutthalden abschätzen zu können, wurden sowohl die Fläche, als auch das Volumen der Haldenkörper berechnet. Tabelle 14 zeigt das Ergebnis zusammen mit der maximalen Schichtdicke der jeweiligen Deponie.

Tabelle 14: Fläche, Volumen und maximale Schichtstärke der Trümmerdeponien.
Bei Nr. 4 ist der Trümmerschuttcharakter der Aufschüttung fraglich.

Nr.	Trümmerdeponie	Fläche (in ha)	max. Wert (in m)	Volumen (in m ³)
1	Eupener Str.	4,1	5,2	214.053
2	Gillesbach	16,8	7,0	900.056
3	Breslauer Str.	3,4	6,9	239.355
4	Peliserker Str.	10,1	5,0	634.344
5	Roermonder Str.	20,7	7,1	1.356.975

Die größte Deponie, sowohl bezogen auf Fläche, maximale Schichtstärke und Volumen, stellt Nr. 5 (Roermonder Straße) dar. Die Deponie am Gillesbach weist ähnlich hohe Werte auf, während Eupener und Breslauer Straße deutlich kleiner ausfallen. Die vermeintliche Deponie Peliserker Straße (Nr. 4) wurde ausgeklammert, da es sich nach der oben beschriebenen Analyse mit der Geländeoberfläche von 1939 um keine Nachkriegsverlagerung handelt. Insgesamt weisen die untersuchten Deponien (ohne Nr. 4) ein Volumen von 2.710.439 m³ auf.

6.7 Die Flut von Aachen

Die Belagerung und Überflutung Aachens durch Wilhelm von Holland im Jahr 1248 ist ein historisch und archäologisch im Detail nur schwer zu fassendes Kapitel der Aachener Stadtgeschichte. Ziel der hier durchgeführten Rekonstruktion dieses Ereignisses war es daher, mit Hilfe des erstmals vorliegenden Paläo-DGMs eine Neubewertung der vorliegenden Quellen und bisherigen Untersuchungen vorzunehmen und damit das Wissen über dieses historische Ereignis zu erweitern. Im Folgenden werden die Ergebnisse der unter Kapitel 5.2.7 beschriebenen und angewendeten Methodik vorgestellt. Eine abschließende Interpretation der Ergebnisse findet in Kapitel 7.7 statt.

6.7.1 Wasserstandhöhen

Die einzigen aussagekräftigen Hinweise zur Ausdehnung der überfluteten Flächen und damit zur maximalen Höhe des angestauten Wassers finden sich bei RHOEN (1894). Dieser stützt sich auf Quellen, die größtenteils erst aus dem 16. Jahrhundert stammen und den Wasserstand schriftlich beschrieben haben. RHOEN (1894) hat aus diesen Angaben eine Karte mit dem überfluteten Bereich erstellt (markiert in Abb. 64), die aber auf der Topographie vom Ende des 19. Jahrhunderts basiert. Auf der Karte ist zu sehen, dass das Wasser etwa bis in den zentralen Bereich des Katschhofes reichte. Dies entspricht einer aus dem aktuellen DGM1 abgeleiteten Höhe von ca. 169,5 m ü. NN.

Diese Stelle wurde daher als Referenz herangezogen, um mit Hilfe des Paläoreliefs die Überflutung bis zu dieser Stelle zu modellieren. Auf dem Paläo-DGM entspricht dieselbe Stelle einer Höhe von nur 166,5 m ü. NN. Abbildung 64 zeigt die Ausdehnung der modellierten Wasserfläche auf Basis des Paläoreliefs bei einer Wasserstandhöhe von 166,5 m ü. NN.

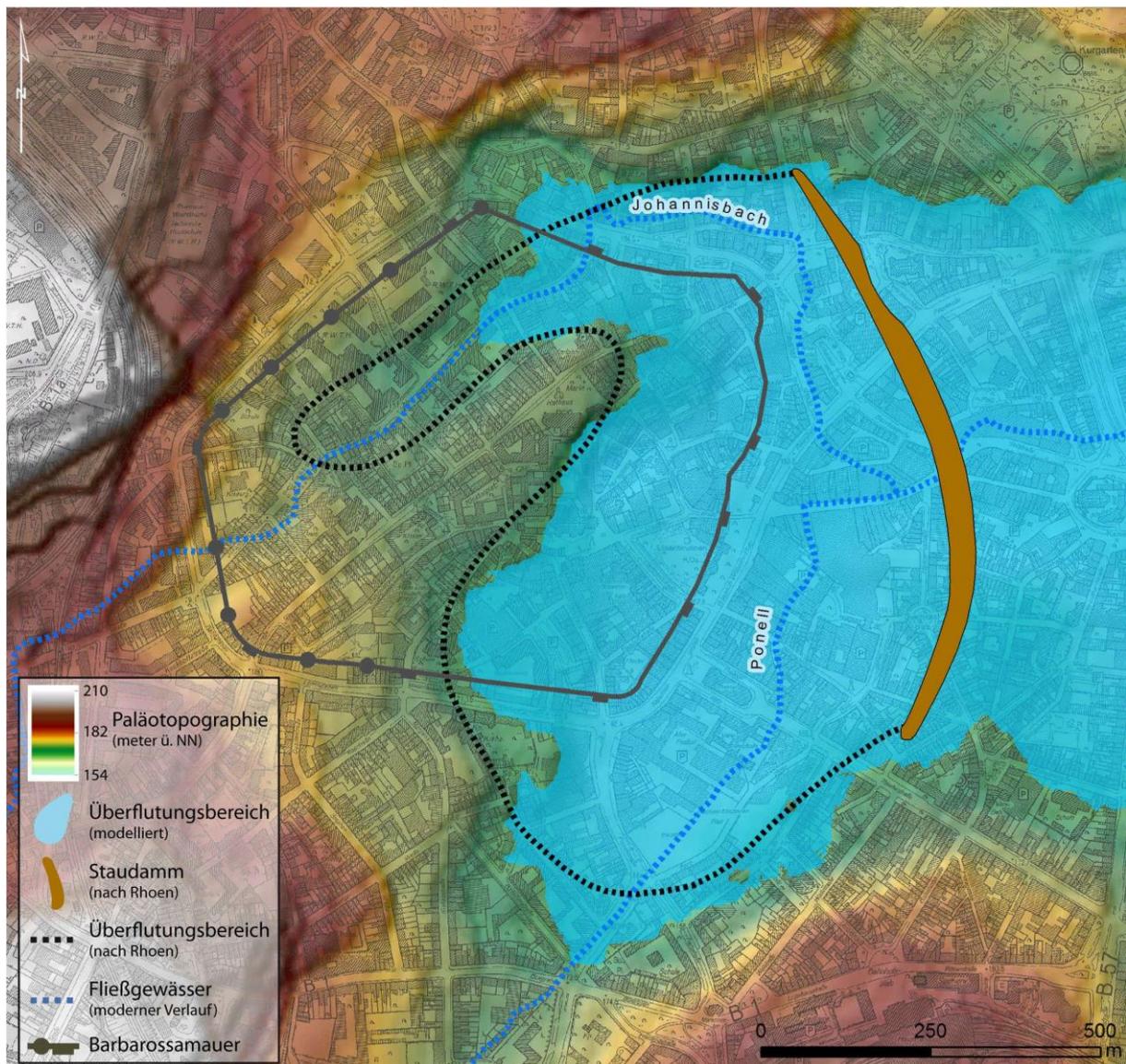


Abbildung 64: Auf Grundlage des Paläo-DGMs modellierter Überflutungsbereich. Die in den Quellen beschriebene Ausdehnung des Wassers bis zum Katschhof entspricht hier einer Höhe von 166,5 m ü. NN.

Die Ausdehnung der modellierten Wasserfläche entspricht in weiten Teilen dem von RHOEN (1894) postulierten Überflutungsbereich und umfasst ca. 58 ha. Einzig im Bereich des Johannisbaches reicht die Wasserfläche nicht so weit

stromaufwärts. Die von RHOEN (1894) vermutete Ausdehnung des Staudamms wäre weitestgehend ausreichend, um auf der Paläotopographie den entsprechenden Bereich aufzustauen.

6.7.2 Dammverlauf

Auf Basis des Paläo-DGMs sowie der aktuellen Oberfläche wurden Geländeprofile entlang des potentiellen, von RHOEN (1894) vermuteten Dammverlaufs erstellt.

Abbildung 65 zeigt das Geländeprofil entlang des von RHOEN (1894) dargestellten und in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Staudamms.

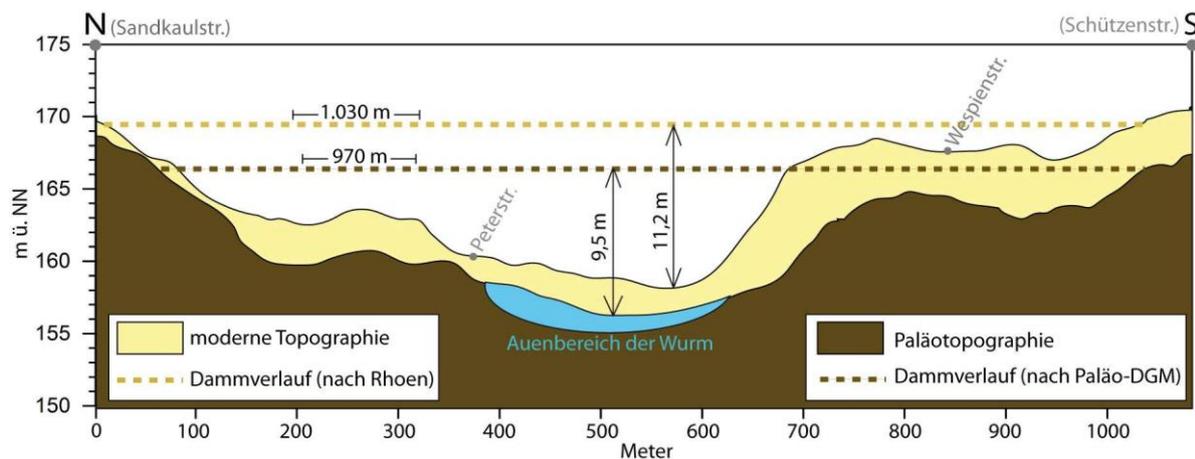


Abbildung 65 : Geländeprofil, sowie Dammlänge und -höhe an dem in RHOEN (1894) vorgeschlagenen Verlauf. Um die in Abb. 64 markierten Bereiche zu überfluten, müssen die Dammkronen mindestens auf 166,5 m ü. NN (Paläorelief) bzw. 169,5 m ü. NN (modernes Relief) liegen.

Zu sehen ist zunächst die moderne Topographie, die der Rhoen-Kartierung zugrunde lag, sowie der sich hieraus ergebende Dammverlauf. In diesem Fall hätte der Staudamm eine Länge von ca. 1.030 m, sowie im Auenbereich eine maximale Höhe von 11,2 m aufweisen müssen, um den Wasserstand von 169,5 m ü. NN aufstauen zu können. Des Weiteren zeigt das Geländeprofil das Paläorelief, das im Verlauf des Dammes bis zu 6 Meter unter der heutigen Oberfläche liegt.

Die sich aus diesem Paläo-DGM ergebende notwendige Länge, um das Wasser auf 166,5 m ü. NN aufzustauen, beträgt ca. 970 m, bei einer maximalen Höhe des Damms von 9,5 m. Das heißt, der Staudamm der auf Grundlage der Paläooberfläche angelegt werden müsste, ist sowohl um 60 Meter kürzer als auch um 1,7 Meter niedriger als der von RHOEN (1894) postulierte Damm.

Abbildung 64 zeigt, dass die Länge des Staudamms an dem von RHOEN (1894) dargestellten Verlauf nicht ganz ausreicht um die auf Basis des Paläo-DGMs modellierte Wasserfläche aufzustauen. Allerdings zeigt die Abbildung auch einen möglicherweise günstigeren, da kürzeren, potentiellen Dammstandort etwas weiter östlich.

Der eigentlichen Rekonstruktion des Dammverlaufes ging eine Recherche nach archäologischen Belegen oder Hinweisen für den Standort des Staudamms voraus. Die einzigen belastbaren Hinweise auf ein Dammbauwerk ergaben sich aus den Dokumentationen zweier archäologischer Maßnahmen (Aktivitätsnummer NW 1951/0004 und NW 1953/0004) aus den Jahren 1951 und 1953 in der Adalbertstraße (s. Markierung in Abb. 66). Hier wurden im Rahmen von Notbergungen bei Ausschachtungsarbeiten im ehemaligen Bett des Johannisbaches Eichenstammpaare und eine ca. 3 m hohe Lehmschüttung gefunden, die dem Staudamm von 1248 zugeordnet werden konnten (KELLER 2004). Der Fundort befindet sich an einer Stelle, durch die der von RHOEN (1894) dargestellte Damm verläuft. Somit wird im Folgenden von einem Dammverlauf durch diese Stelle ausgegangen.

Aus der Kombination der erwähnten günstigeren Lage östlich des ursprünglichen Damms und der Lage des archäologischen Dammbefunds, wurde ein neuer möglicher Verlauf des Damms rekonstruiert (s. Abb. 66).



Abbildung 66: Auf Basis des Paläo-DGMs optimierter Verlauf des Staudamm sowie der Staudamm nach RHOEN (1894) am Zusammenfluss der Bäche aus dem inneren Aachener Kessel.

Dieser verläuft ebenfalls in Nord-Süd-Richtung und durch die Stelle des Dammbefunds in der Adalbertstraße. Allerdings liegen die Endpunkte des Damms zwischen 100 und 200 Metern weiter östlich des ursprünglichen Staudamms. Damit stellt er die kürzeste, notwendige Verbindung dar, um den Zusammenfluss von Johannisbach und Ponell im Ausflussbereich aus dem inneren Aachener Kessel auf eine Höhe von 166,5 m ü. NN aufzustauen.

Auf Abbildung 67 ist das Geländeprofil des möglichen, alternativen Dammverlaufs zu sehen.

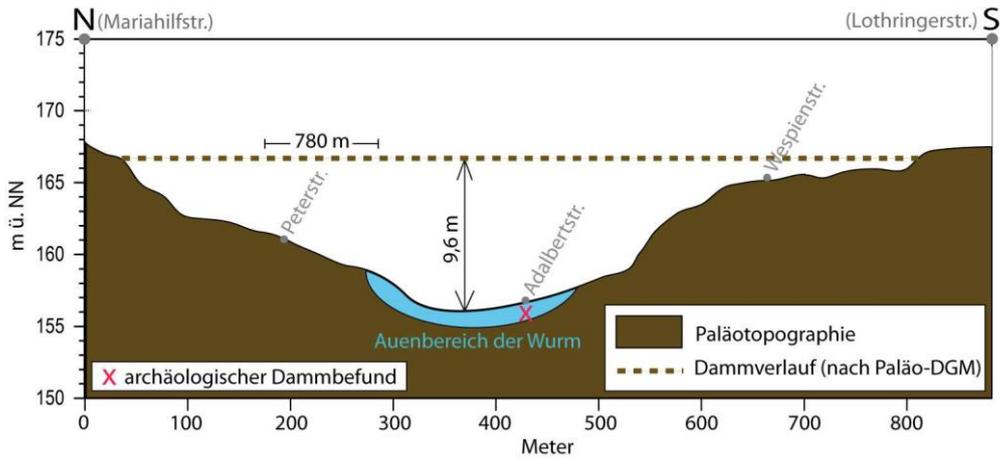


Abbildung 67: Geländeprofil entlang des optimierten Dammverlaufs mit der notwendigen Höhe und Länge des Staudamms.

Er weist zwar, ähnlich dem ursprünglich angenommenen Verlauf (s. Abb. 66), eine maximale Höhe der Dammkronenhöhe von 9,6 Meter auf. Allerdings ist er mit einer Gesamtlänge von nur noch 780 Meter um 190 Meter kürzer als der von RHOEN (1984) postulierte Verlauf auf dem Paläorelief (bzw. um 250 Meter kürzer als der „Rhoen-Verlauf“ auf dem aktuellen Gelände).

6.7.3 Dammvolumen und Bauzeit

Nachdem die drei Dammvarianten erstellt wurden, konnte aus jeder das Volumen errechnet werden. Abbildung 68 zeigt zunächst die Flächen der Längsprofile der drei Varianten.

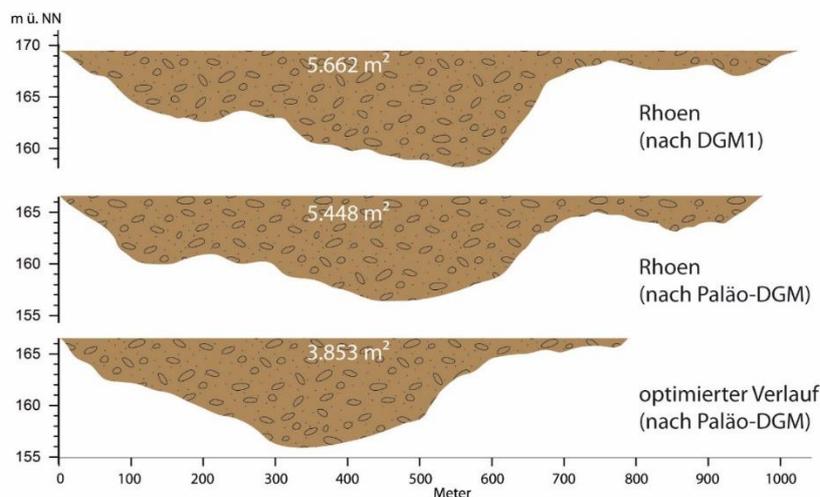


Abbildung 68: Längsprofile und Profilflächen der drei Dammvarianten.

Hier ist bereits zu erkennen, dass die Übertragung des „Rhoen“-Dammverlaufs auf das Paläo-DGM eine Reduzierung der Fläche um 214 m² zur Folge hat. Dies entspricht einer Reduzierung von ca. 4 %. Eine deutlich größere Reduzierung des Damm-Längsprofils (1.809 m²) wird durch den optimierten Dammverlauf erzielt. Dieser weist nur noch ca. 68 % der Fläche des ursprünglichen Verlaufs auf. Ähnlich verhält es sich mit dem Volumen des Staudamms. Tabelle 15 zeigt die Volumen der drei rekonstruierten Dammvarianten.

Tabelle 15: Volumen, Längsprofilflächen und Abmessungen der drei rekonstruierten Dammverläufe.

Dammvariante	Volumen	max. Höhe	Ø Höhe	Länge	Fläche Längsprofil
Rhoen (nach DGM1)	58.370 m ³	11,2 m	5,2 m	1.030 m	5.662 m ²
Rhoen (nach Paläo-DGM)	53.835 m ³	9,5 m	5,1 m	970 m	5.448 m ²
optimierter Verlauf (nach Paläo-DGM)	43.290 m ³	9,6 m	5,1 m	780 m	3.853 m ²

Auch hier weist der ursprünglich von RHOEN (1984) postulierte Verlauf auf der aktuellen Oberfläche das größte Volumen auf. Mit einer Übertragung dieses Verlaufs auf das Paläo-DGM reduziert sich das Volumen um 4.335 m³ und damit ca. um 8 %. Der optimierte Dammverlauf zieht ein um 15.080 m³ geringeres Volumen. Dies entspricht ca. 74 % des ursprünglichen Damms.

In direktem Zusammenhang mit dem Volumen steht die Bauzeit des Damms. Tabelle 16 zeigt die errechneten Bauzeiten der Dammvarianten unter der Annahme, dass eine Arbeitskraft pro Tag 5m³ Material verbauen kann (EVERS 2011, KRAMER 1992).

Tabelle 16: Bauzeiten der drei Dammvarianten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Arbeitskräftezahl.

Dammvariante mit Volumen	Bauzeit (in Tagen)	
	1.000 Arbeiter	500 Arbeiter
Rhoen (nach DGM1) 58.370 m ³	12	23
Rhoen (nach Paläo-DGM) 53.835 m ³	11	22
optimierter Verlauf 43.290 m ³	9	17

Im Hinblick auf die Bauzeit ist der optimierte Verlauf mit 9-17 Tagen Bauzeit die günstigste Dammvariante. Die beiden auf dem „Rhoen“-Verlauf basierenden Varianten unterscheiden sich in ihrer Bauzeit untereinander nur unwesentlich.

6.7.4 Volumen und Einstaudauer des Wassers

Für die drei Dammvarianten wurde jeweils das Volumen, bzw. die Menge des Wassers bestimmt, die notwendig sind, um die Aachener Innenstadt bis auf den von RHOEN (1984) beschriebenen Bereich zwischen Dom und Rathaus zu überschwemmen. In Tabelle 17 sind sowohl die Volumina als auch die Flächen der Überflutungsbereiche zusammengefasst.

Tabelle 17: Volumen und Oberfläche des gestauten Wassers für die drei rekonstruierten Dammverläufe.

Dammvariante	Volumen	Fläche
Rhoen (nach DGM1)	3.097.840 m ³	601.390 m ²
Rhoen (nach Paläo-DGM)	2.508.130 m ³	558.970 m ²
optimierter Verlauf (nach Paläo-DGM)	2.713.690 m ³	608.350 m ²

Der von Rohen vorgeschlagene Dammverlauf auf der modernen Topographie führt zu etwa 3.1 Mio. m³ aufgestauten Wassers und damit zum größten Volumen. Derselbe Dammverlauf auf dem Paläo-DGM erfordert dagegen nur ein Volumen von ca. 2,5 Mio. m³. Dazwischen befindet sich der auf Basis des Paläo-DGMs optimierte Dammverlauf. Dieser führt zu einem aufgestauten Wasservolumen von ca. 2,5 Mio. m³. Da er gegenüber dem Rhoen-Damm in Teilen leicht nach Osten versetzt ist führt er auch zu der größten Wasseroberfläche unter den drei Varianten.

Die Zeitdauer bis zum vollständigen Aufstauen der Aachener Bäche wird in den Quellen mit fünf Monaten beschrieben (RHOEN 1894). Um die Einstaudauer der drei rekonstruierten Staudammvarianten zu berechnen, wurden die durchschnittlichen monatlichen Abflusswerte des Einzugsgebiets aus dem GR4J-Abflussmodell von EVERS (2011) herangezogen.

Daraus ließ sich mit den rekonstruierten Wasservolumina der drei Dammvarianten die jeweilige Dauer bis zur vollständigen Einstauung der Dämme errechnen. Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Berechnung jeweils für die ebenfalls in EVERS (2011) verwendeten drei hydrologischen Verhältnisse.

Tabelle 18: Einstauzeiträume der drei rekonstruierten Dammverläufe bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen.

Dammvariante mit Wasservolumen	hydrologische Verhältnisse Ø Abfluss/Monat		
	feucht 322.430 m ³	normal 195.425 m ³	trocken 143.024 m ³
	Monate (bis zum Volleinstau)		
Rhoen (nach DGM1) 3.097.840 m ³	9,6	15,8	21,6
Rhoen (nach Paläo-DGM) 2.508.130 m ³	7,7	12,8	17,5
optimierter Verlauf 2.713.690 m ³	8,4	13,8	18,9

Bei Übernahme der Dammvariante nach RHOEN (1894) auf Basis der aktuellen Topographie, ergibt sich eine Einstaudauer zwischen 9,6 Monaten bei feuchten Verhältnissen und über 21 Monaten bei trockenen Verhältnissen. Legt man diesem Dammverlauf das Paläo-DGM zugrunde, verkürzt sich die Einstaudauer um bis zu 20 % auf 7,7 Monate unter feuchten und 17,5 Monaten unter trockenen Bedingungen. Dazwischen liegt der optimierte Verlauf auf Basis des Paläo-DGMs mit Einstauzeiten zwischen 8,4 und 18,9 Monaten. Dass der optimierte (geringes Dammvolumen und -länge) Damm hier zu Einstauzeiten führt, die zwischen den beiden Rhoen-Varianten liegen, kann darauf zurückgeführt werden, dass er zwar die geringere maximale Wasserstandshöhe (166,5 m ü. NN) aufweist, aber gleichzeitig auch ein größeres Wasservolumen einfasst.

7 Interpretation & Diskussion

Um die in Kapitel 6 dargestellten Ergebnisse besser verstehen zu können, fand ein Teil der Interpretation bereits dort statt. In diesem Kapitel werden daher weitergehende bzw. ergänzende Interpretationen der Ergebnisse vorgenommen.

7.1 Evaluierung

Die Evaluierung von sowohl der Datengrundlage, als auch der daraus resultierenden Interpolationen, hatte das Ziel, die Genauigkeit der Rekonstruktionen abschätzen zu können. Der in der vorliegenden Arbeit durchgeführte, mehrgliedrige Evaluierungs- und Validierungsprozess lieferte dann auch größtenteils nachvollziehbare und zu erwartende Ergebnisse. Zum Teil bedürfen diese aber einer Interpretation.

Zunächst wurde sowohl die archäologische als auch die geologische Datengrundlage auf Datensätze hin untersucht, die grundsätzlich für die Interpolationen geeignet waren (s. Kapitel 5.2.3). Hierbei fiel auf, dass der Anteil der geeigneten Daten bei den geologischen Bohrdaten mit ca. 80% deutlich höher ausfällt als bei den archäologischen Dokumentationen mit nur ca. 25% brauchbarer Datensätze. Dieser Umstand dürfte auf das deutlich höhere Alter vieler archäologischer Maßnahmen (KELLER 2004) und der daraus resultierenden, teilweise unvollständigen Dokumentation zurückzuführen sein. Da die meisten Grabungsdokumentationen ausschließlich analog vorliegen, war der Bearbeitungsaufwand für die archäologische Datengrundlage extrem hoch. Die dadurch notwendige Vorauswahl der Daten (s. Kap. 5.2.3) führte unter Umständen zu einem Verlust von Datenmaterial, da während der subjektiven Sichtung der Beschreibungen die Gefahr bestand, eventuell brauchbare Dokumentationen zu übersehen oder nicht zu erkennen.

Die Werte der Höhen der Geländeoberkanten (GOK) stellen meist die Grundlage für alle weiteren Tiefenbestimmungen dar. Eine Überprüfung dieser Werte erschien daher sinnvoll, vor allem da die Höhe der GOK als einziger

Bestandteil der Datengrundlage direkt kontrolliert werden konnte (s. Kap. 6.1.1). Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass ein falscher oder richtiger GOK-Wert nicht zwangsläufig zu einer falschen oder richtigen Bestimmung der Tiefenwerte führt. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Datenbestandteilen ist auch deswegen fragwürdig, da beide Werte unterschiedlich aufgenommen wurden. Die GOK-Höhen wurden i.d.R. tachymetrisch oder per Karte bestimmt (s. Tab. 4 in Kap. 5.2.8), während Tiefen bei einer Bohr- oder Grabungsmaßnahme vermutlich meist mit dem Zollstock ermittelt werden. Eine genaue Beschreibung der Tiefenmessung findet sich in den Datenquellen i.d.R. nicht. Dass die Abweichung der GOK-Werte bei den geologischen Daten höher als bei den archäologischen ausfällt, könnte auf die Art der Koordinaten, bzw. GOK-Höhenbestimmung zurückzuführen sein. Tabelle 6 zeigt, dass die geodätisch eingemessenen, geologischen Bohrpunkte eine deutlich geringere Abweichung aufweisen als diejenigen, die nur aus Karten abgelesen wurden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die archäologischen GOK-Höhendaten meist geodätisch/tachymetrisch aufgenommen wurden. Allerdings ist auch hier die Methode der Einmessung oftmals nicht näher beschrieben. Wo das aber der Fall war, wiesen die Beschreibungen immer auf eine tachymetrische Einmessung der archäologischen Grabung hin.

Für die Evaluierung der rekonstruierten Modelle der Paläotopographie sowie der anthropogenen Schichten wurde ein Kreuzvalidierungsverfahren angewendet (vgl. Kapitel 5.2.8). Die Ergebnisse dieses Validierungsprozesses zeigten zunächst, dass die Unterschiede zwischen den getesteten Interpolationsverfahren relativ gering ausfielen. Zum Teil sind die Unterschiede innerhalb einer Methode bei Anwendung unterschiedlicher Parameter größer als die Unterschiede zwischen den Interpolationsverfahren (s. Tab. 7). Diese Beobachtung deckt sich mit Erkenntnissen ähnlicher Untersuchungen im urbanen Raum (LUBERTI 2018; JAMES ET AL. 2012) und lässt den Schluss zu, dass neben der Interpolationsmethode vor allem die Dichte der Datenpunkte für die Genauigkeit des Ergebnisses verantwortlich ist.

Wie Abbildung 25 zeigte, reduzierten sich die Residuenwerte mit zunehmender Datendichte beträchtlich. Zusammen mit der räumlichen Verteilung der Vorhersagevarianz des Kriging-Verfahrens (s. Abb. 26) wird erkennbar, dass einer hohen Punktdichte eine größere Relevanz für die Genauigkeit der Interpolation zukommt, als das angewandte Interpolationsverfahren.

Letztendlich wurde das Kriging-Verfahren sowohl für die Interpolation der Geländeoberflächen (Paläotopographie und 4D-Analysen), als auch der anthropogenen Schichten herangezogen, da dieses Verfahren leicht geringere Fehlerwerte aufwies. Dies war zu erwarten, da die Stärke des Krigings eben genau in der Interpolation unregelmäßig verteilter Datenpunkte liegt (CHILES & DELFINER 2012). Festzuhalten ist aber, dass die Evaluierung der Modellierung letztlich nur eine indirekte Methode der Genauigkeitsbestimmung darstellt.

Um die modellierten Tiefenwerte zweifelsfrei zu überprüfen, mußten letztendlich eigene Grabungen oder Bohrungen durchgeführt oder zumindest begleitet und dokumentiert werden. Die vier Grabungen in der Innenstadt, für die verlässliche Vergleichswerte gewonnen werden konnten, zeigen Abweichungen zur modellierten Kriging-Oberfläche von lediglich 0,1 m bis 0,4 m. Die Abweichungen der selbst durchgeführten Rammkernbohrungen im Bereich des Gillesbachs betragen 0,7 m und 0,6 m. Die beiden hohen Abweichungen zum Kriging-Modell bei der Grabung „Zeitungsmuseum“ (0,7 m) und bei Bohrung B (3,9 m) (s. Tab. 8) sind, wie bereits in Kapitel 6.1.3 dargelegt, auf den starken Abfall des Geländes in Richtung Bachlauf zurückzuführen. Bei einer vertikal stark ausgeprägten Diskontinuität im Gelände gerät das Kriging-Verfahren an seine Grenzen (CHILES & DELFINER 2012; ELLISON ET AL. 2002). Für solche Standorte würden sich andere Interpolationsverfahren, wie etwa die „Spline“-Interpolation, anbieten (LUBERTI 2018). Aufgrund der im Aachener Stadtgebiet eher selten vorkommenden abrupten Geländeänderungen wurde sich aber dagegen entschieden und stattdessen auf das „Minus“-Verfahren zurückgegriffen (vgl. Kap. 5.2.4). Damit konnten die hohen Abweichungen auf 0,6 m (Gillesbach) bzw. 0,2 m (Zeitungsmuseum) reduziert werden.

Die Abweichungen der Bohrdaten im Gillesbachtal liegt mit durchschnittlich 0,55 m deutlich über der Abweichung der Grabungsdaten im Innenstadtbereich (0,25 m). Dies dürfte an der höheren Entfernung der Bohrstandorte zu den nächsten Datenpunkten (\varnothing 47 m) liegen. Die Grabungen im Innenstadtbereich sind nur durchschnittlich 34 m von den nächsten Datenpunkten entfernt (s. Tab. 8). Somit wird auch hier die Bedeutung einer möglichst hohen Datenpunktdichte ersichtlich.

7.2 Die Paläotopographie

Am Anfang des vorliegenden Projekts stand die Frage, ob die ehemalige Topographie des Aachener Innenstadtbereichs mit archäologischen und geologischen Karten rekonstruiert werden kann, und welche weiteren Möglichkeiten sich daraus ergeben.

Die Ergebnisse zeigen, dass solch eine Rekonstruktion möglich ist und wie sie durchgeführt werden kann. Das in Abbildung 28 gezeigte Paläorelief stellt den ursprünglichen Untersuchungsraum dar, der noch auf den inneren Aachener Kessel (begrenzt durch den Lousberg im Norden) beschränkt war und damit den historischen Stadtkern umfasste. Bereits diese erste Rekonstruktion zeigte das Potential einer Topographierekonstruktion im urbanen Raum auf.

Augenscheinliche Unterschiede zur rezenten Oberfläche ergaben sich vor allem im Bereich des Hofes an der Südflanke des Markthügels, wo die Quellen des Aachener Thermalquellenzugs entspringen. Hier ist in der Paläooberfläche eine deutliche Geländesenke zu erkennen, die sich östlich in Richtung des Zusammenflusses von Johannisbach und Paubach öffnet (vgl. Kapitel 6.2.1). Die Vermutung liegt nahe, dass die Vertiefung auf fluviale Erosion durch die Thermalwässer zurückzuführen ist, die vor der menschlichen Einflussnahme vermutlich noch mehr oder weniger offen zu Tage traten (POMMERENING 1992). Für einen deutlichen Einfluss der Quellen auf das Gelände würde auch der Tallehm sprechen, der nach der ingenieur-geologischen Karte im westlichen Bereich der Senke ansteht (vgl. Kapitel 5.1.1 und Abb. 28).

Vorausgesetzt die Kartierung ist an dieser Stelle korrekt, würde das auch Implikationen bezüglich der Frage der Existenz der Domquelle zulassen (vgl. Kapitel 3.2.3). Da sich der potentielle Standort der Quelle am westlichen Ende der Senke im Bereich des Tallehms befindet, wäre zumindest ein vorgeschichtlicher Quellaustritt denkbar.

Nach der erfolgreichen Rekonstruktion der Paläotopographie des historischen Innenstadtbereichs wurde das Untersuchungsgebiet auf nahezu den gesamten Aachener Kessel ausgeweitet und für diesen die Paläooberfläche modelliert (s. Abb. 29). Grundsätzlich ist hier die reine Darstellung der Paläotopographie eher weniger aufschlussreich, da Unterschiede gegenüber der rezenten Oberfläche aufgrund des kleinen Maßstabs relativ schwer zu erkennen sind. Hingewiesen werden soll aber auf die unbefriedigende Darstellung des Lousbergs (vgl. Kapitel 6.2.2), die sich durch die hier vorliegende und bereits beschriebene geringe Datenpunktdichte ergibt. Der Lousberg erscheint daher im Paläorelief um ca. 10 m niedriger als heute, obwohl er nachweislich durch den Feuersteinbergbau um mehrere Meter abgetragen wurde (BREDDIN ET AL. 1963; LIESE 1930; SCHYLE 2010).

Die Ableitung der Hangneigung (in Grad) aus dem Paläo-DGM ist eine Möglichkeit, um Veränderungen in der Topographie sichtbar zu machen. Abbildung 30 und Tabelle 9 haben gezeigt, wie sich die Hangneigung im Gesamtuntersuchungsgebiet, aufgrund der Anschüttungen von Bahndämmen und Straßen, erhöht hat. Allerdings kam es lokal auch zu einer Einebnung von Gelände. Ein Beispiel hierfür ist die erwähnte Geländesenke der Thermalquellen.

Eine ähnliche Beobachtung lässt sich auch für den zweiten Aachener Thermalquellenzug in Burtscheid machen. Dieser befindet sich außerhalb des ursprünglich untersuchten historischen Stadtzentrums. Daher konnten für diesen Quellbereich keine archäologischen Daten gewonnen werden (vgl. Kapitel 5.1.2). Allerdings zeigt die Paläotopographie in diesem Bereich einen relativ starken Einschnitt des Wurmtals, der heute so im Gelände nicht mehr erkennbar ist.

Auch die Hangneigung scheint hier ursprünglich größer gewesen zu sein. Kombiniert man diese Ergebnisse zusätzlich mit der Karte der anthropogenen Schichten (vgl. Kapitel 6.4.2), sowie der Differenzdarstellung 1939/Rezent (vgl. Kapitel 6.6), ergeben sich durchaus Implikationen und Interpretationsmöglichkeiten für die Topographie um den Burtscheider Quellenzug.

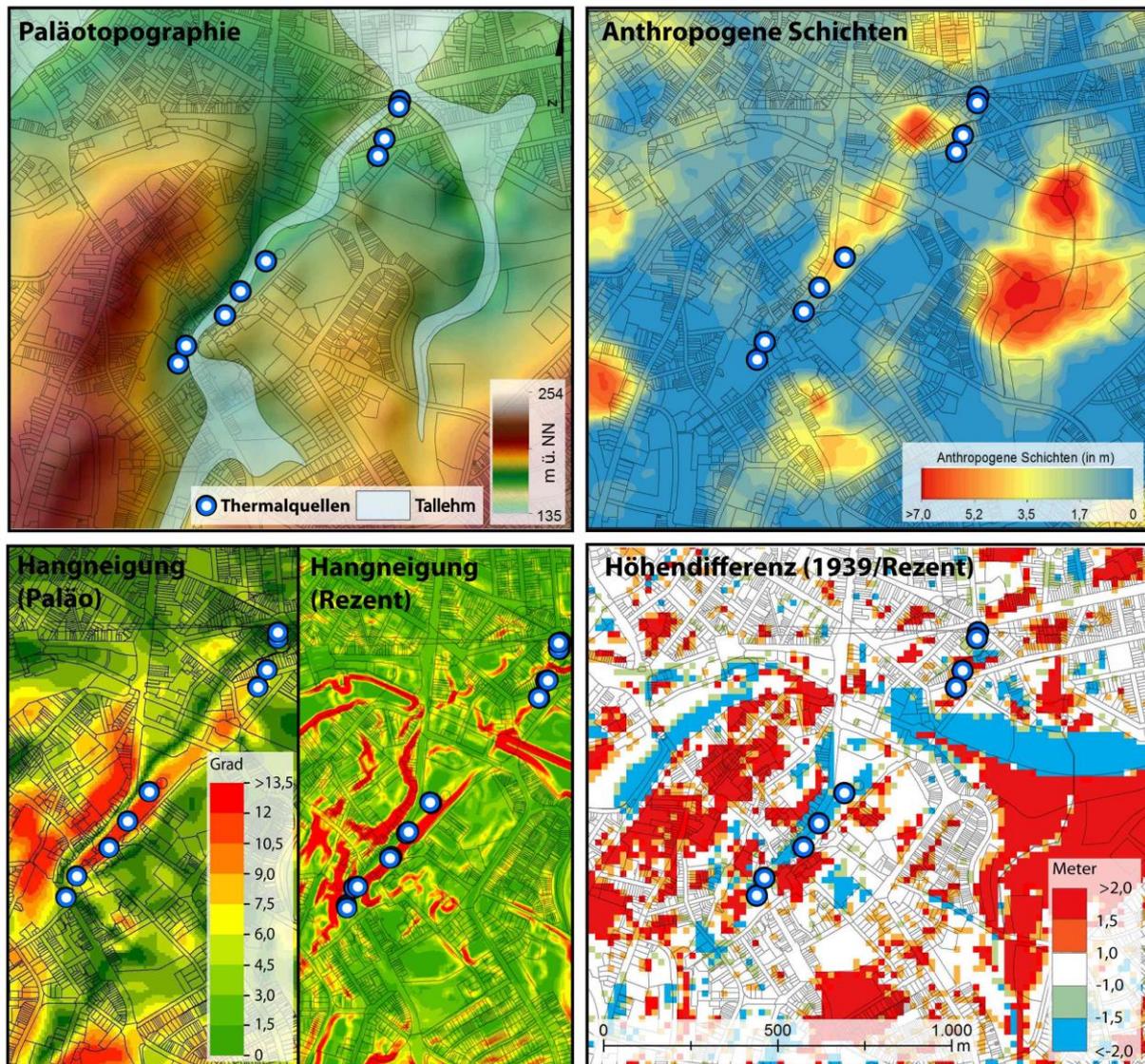


Abbildung 69: Burtscheider Thermalquellenzug vor dem Hintergrund der Paläotopographie und den anthropogenen Schichten.

Abbildung 69 zeigt den Burtscheider Thermalquellenzug vor dem Hintergrund der Paläotopographie, sowie der Ableitungen daraus. Zu erkennen sind die Quellaustritte, die sich im Wurmtal kurz vor dessen Öffnung in den Aachener Kessel befinden. Die Hangneigungsdarstellung zeigt, dass der Bereich großer

Neigung im rezenten DGM deutlich schmaler geworden ist. Daraus kann geschlossen werden, dass durch Anschüttungen bzw. Aufwachsen der Siedlungsschichten, analog zum Bereich „Hof“ im Innenstadtbereich, das Gelände verflacht wurde. Die Karte der anthropogenen Schichten zeigt außerdem im Verlauf des Thermalzugs einen langgestreckten Bereich relativ hoher Schichtdicke. Da auf der Karte „Höhendifferenz“ entlang des Quellzugs kein nennenswerter Zuwachs festzustellen ist, müssen die Schichten vor 1939 entstanden sein.

Da das Gebiet um die Burtscheider Quellen ebenfalls seit römischer Zeit besiedelt war (KÖHLER 2013), ist eine zeitlich weit zurückreichende Geländeänderung denkbar. Insbesondere weil die feuchten Niederungen der Aachener Bäche und Quellbereiche häufig überschwemmt waren und spätestens seit dem Mittelalter als Quelle von Krankheitserregern galten (HAAGEN 1879), ist eine frühzeitige Trockenlegung wahrscheinlich.

Mit der erweiterten Betrachtung der Burtscheider Quellen vor dem Hintergrund der Paläotopographie wird deutlich, wie mit ihrer Hilfe, auch ohne konkrete archäologische Daten, Rückschlüsse auf historische Geländeänderungen durch den Menschen gezogen werden können.

7.3 Die ehemaligen Bachverläufe

Die Rekonstruktion der ursprünglichen Bachverläufe erfolgte auf Basis des Paläo-DGMs. Das Untersuchungsgebiet für die Bachrekonstruktion beschränkte sich auf den historischen Innenstadtbereich im inneren Aachener Kessel. Hier ist der Verlauf der beiden Gewässer Johannisbach und Ponell mindestens seit dem Mittelalter kanalisiert und verrohrt (COELS v. D. BRÜGGHEN 1958). Der ursprüngliche Verlauf vor der ersten menschlichen Einflussnahme konnte bisher nur anhand des kartierten Auenlehms, bzw. der in den Niederungen immer wieder gefundenen Bachsedimente (NÜSSGENS 2011), geschätzt werden. Der rekonstruierte Bachverlauf wurde bereits, zusammen mit dem modernen, kanalisierten Verlauf sowie den Bereichen mit Tallehm, in Abbildung 31 in

Kapitel 6.3 dargestellt. In der folgenden Abbildung 70 wurden diese Ergebnisse mit der Karte der anthropogenen Schichten verschnitten, um die Veränderungen der Gewässerläufe aufgrund der geänderten Geländeoberfläche zu visualisieren.

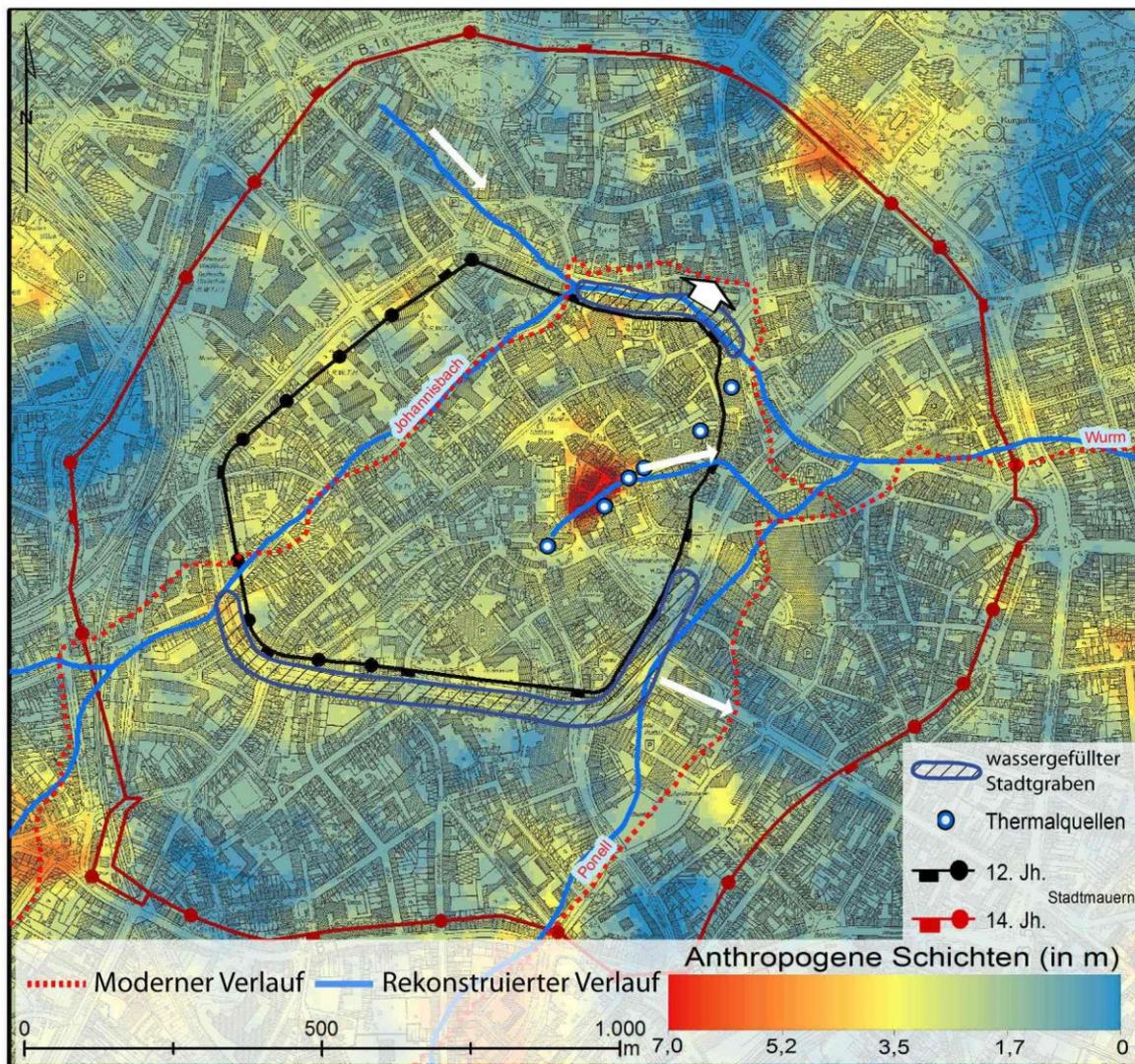


Abbildung 70: Die Rekonstruierten Bachverläufe vor dem Hintergrund der anthropogenen Schichten. Die weißen Pfeile markieren die deutlichen Abweichungen zum rezenten Verlauf.

Auf der Abbildung sind die wichtigsten Abweichungen der beiden Gewässerverläufe mit Pfeilen gekennzeichnet. Zunächst ist zu sehen, wie an der nordöstlichen Flanke des Markthügels der Gewässerverlauf in nordöstliche Richtung abgelenkt wurde (s. Kap. 6.3). Wie auf der Karte zu erkennen ist, kam es in diesem Bereich des Markthügels zu einem starken Anwachsen der anthropogenen Schichten. Dies hatte dann vermutlich ein Abdrängen des Johannisbachs in die entsprechende Richtung zu Folge. Die Abbildung 55 in

Kapitel 6.5.5 zeigt ebenfalls einen Teil dieses Bereichs und datiert den Geländezuwachs auf den Zeitraum nach dem Stadtbrand von 1656. Daher ist auch eine Änderung des Gewässerverlaufs in dieser Phase wahrscheinlich. Denkbar ist eine Verlegung und Kanalisierung im Rahmen der Verfüllung des Stadtgrabens, der in diesem Abschnitt, gespeist durch den Johannisbach, wassergefüllt war (RHOEN 1894). Ähnlich könnte es sich im südöstlichen Bereich abgespielt haben, wo der Verlauf der Ponell (die ebenfalls für die Bewässerung eines Grabenabschnitts genutzt wurde) in südöstliche Richtung verlagert wurde.

Die Gewässerrekonstruktion ergab auch an zwei Stellen potentielle zusätzliche Verläufe. Aus nordwestlicher Richtung ist ein Zulauf aus der Richtung des Lousbergs zu erkennen. Dieser ist durchaus vorstellbar, da sich am Südrand des Lousbergs, aufgrund des ähnlichen geologischen Aufbaus wie der Aachener Wald (s. Kap. 3.3.1), Quellaustritte befanden (BREDDIN 1960). Diese könnten zumindest temporär zu einem Wasserlauf geführt haben, der nördlich des Markthügels in den Johannisbach geflossen ist und dessen geführte Wassermenge erhöht hat. Dies wiederum lässt Implikationen auf die anthropogenen Nutzungsmöglichkeiten des Johannisbachs zu. So könnte ein zusätzlicher Zufluss die Wassermenge temporär so weit erhöht haben, dass eine Schiffbarkeit des Gewässers (z.B. mit Nachen im Treidelverfahren) möglich war (CÜPPERS 1982; NÜSSGENS 2011; SCHAUB 2011c).

Ein weiterer Bachlauf ist im Bereich der Thermalquellen zu erkennen. Dies ist insofern nicht verwunderlich, da die Quellschüttung von ca. 1.200 m³/d abfließen musste, und dies aufgrund der Topographie nur in östliche Richtung möglich ist. In Kombination mit dem nahen Zusammenfluss von Johannisbach und Ponell stellt der Ausfluss aus dem Quellbereich somit die oftmals beschriebene, feuchte Niederung und den Überschwemmungsbereich (BREDDIN ET AL. 1963; HAAGEN 1879) dar, der wahrscheinlich teilweise schon von den Römern trockengelegt wurde (COELS V. D. BRÜGGHEN 1958). Die Ergebnisse der 4D-Rekonstruktion des Bereichs (s. Kapitel 6.5.2 und 7.5) bestätigen einen deutlichen römischen Einfluss auf das Gelände.

7.4 Die anthropogenen Schichten

Die Rekonstruktion des Paläo-DGMs ermöglicht auch die Darstellung der Differenz der Paläotopographie zur heutigen Geländeoberfläche. Auch hier wurde zunächst nur der historische Innenstadtbereich rekonstruiert, der von den beiden Stadtmauern umfasst wird. Das Ergebnis stellt somit die Mächtigkeit der anthropogenen Siedlungsschichten dar.

Anzumerken ist, dass es sich bei diesen Schichten vermutlich nicht primär um intentionelle oder gezielte An- oder Aufschüttungen handelt, sondern um Siedlungsschichten, die im Lauf verschiedener Phasen langsam durch einen wiederkehrenden Zyklus von Abriss oder Zerstörung, Planierung und Neubau emporgewachsen sind. Dieses „Anwachsen“ von Siedlungen auf ihren eigenen „Hinterlassenschaften“ stellt eine typische topographische Entwicklung eines urbanen Raums dar, der über hunderte oder tausende von Jahren besiedelt wurde (MOZZI ET AL. 2018). Ähnliche Beobachtungen wurden in einer Vielzahl europäischer Städte wie Carcassonne, Bourges, Pompei, Padua, Rom oder Wien gemacht (CARVER 1983, 1987; VOGEL ET AL. 2011; EDGEWORTH 2016; LUBERTI 2018; MOZZI ET AL. 2018).

Im Gegensatz zu natürlichen Sedimenten weist diese anthropogene Stratigraphie häufig eine hohe Inhomogenität bezüglich ihrer Zusammensetzung auf (MCMILLAN & POWELL 1999; MATHER ET AL. 1996). Die Rekonstruktion der Paläotopographie beruht daher letztendlich auf der Unterscheidbarkeit zwischen dieser anthropogenen Stratigraphie und den darunterliegenden, gewachsenen und vom Menschen unbeeinflussten Schichten.

Abbildung 32 zeigt die Mächtigkeit der anthropogenen Schichten in ihrer Gesamtheit. Zusammen mit Abbildung 33 erkennt man, dass die Schichten in ihrer Dicke vom Zentrum aus gesehen nach außen abnehmen. Neben dem in Kapitel 6.4.1 gezeigten Zusammenhang zwischen der Schichtmächtigkeit und dem Siedlungsalter der Flächen, ergeben sich in einer mit Stadtmauer umgebenen Siedlung weitere Überlegungen zum Anwachsen der Schichten. CARVER (1987) beschreibt eine Entwicklung der anthropogenen Schichten in

Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Topographie sowie dem Vorhandensein einer Stadtmauer. Am Beispiel der historischen Innenstädte von Carcassonne, Cordes und Bordeaux zeigt er auf, wie sich topographische Voraussetzungen und anthropogene Strukturen auf die Siedlungsstratigraphie auswirken (s. Abb. 71). Diese französischen Städte weisen alle unterschiedliche, in sich aber relativ homogene, topographische Voraussetzungen auf. Aachen weist mit dem Markthügel und den flachen Auenbereichen eine Kombination dieser Voraussetzungen auf, auch wenn diese in Aachen jeweils deutlich weniger ausgeprägt sind.

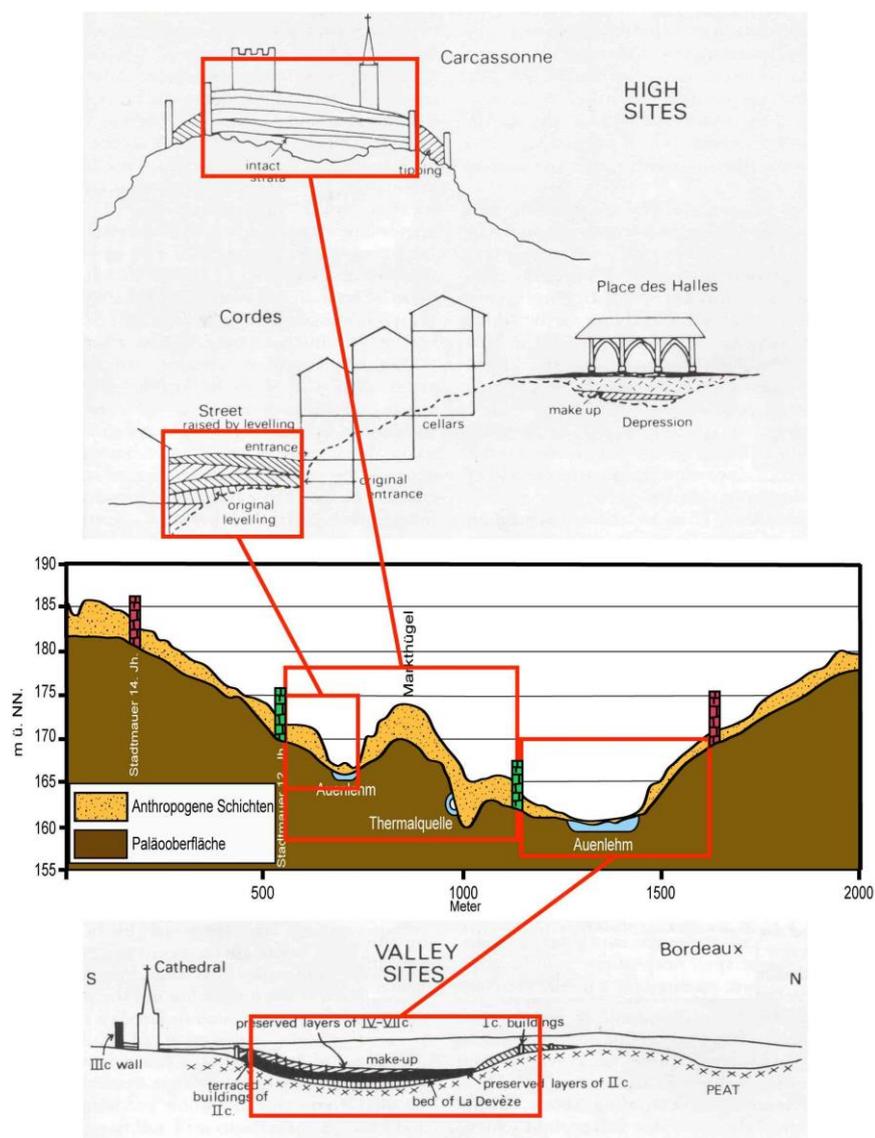


Abbildung 71: Vergleich der anthropogenen Schichten Aachens mit anderen französischen Städten. Zum Verlauf des Aachener Profils in der Mitte s. Abb.33.(Quelle: eigene Darstellung und CARVER (1987).

In Carcassonne führte die Hügellage in Kombination mit den Stadtmauern zu einem Anwachsen der Schichten innerhalb der Mauern. Ähnliches, wenngleich weniger markant, ist in Aachen innerhalb der älteren Barbarossamauer aus dem 12. Jahrhundert n. Chr. zu beobachten. Auch hier ist stellenweise ein sprunghafter Anstieg der Schichten direkt innerhalb der Mauer festzustellen. Das heißt der Mauerring wirkte wie eine Barriere innerhalb derer sich „hochgesiedelt“ wurde. Für den äußeren Mauerring ist solch ein Effekt nicht feststellbar, da vermutlich die Besiedlungszeit zu kurz war (s. Kap. 4.6). Auch in Cordes konnte ein solches Aufsiedeln zwischen Gebäudestrukturen in Hanglage mit Verfüllung bzw. Anschüttung in hangseitiger Richtung festgestellt werden. Analog dazu zeigt die Abbildung in Aachen, ausgehend von der Stadtmauer hangabwärts zum Auenbereich des Johannisbachs, eine ähnliche Schichtsituation. Im Falle von Bordeaux sind die anthropogenen Schichten im Hang- bzw. Terrassenbereich teilweise stärker ausgeprägt und verjüngen sich zum Auenbereich hin. In Aachen ist dies ebenfalls feststellbar, wenngleich deutlich stärker ausgeprägt.

Dieser Vergleich zeigt, wie sich bestimmte Charakteristika in der Entwicklung der Topographie in urbanen Räumen in verschiedenen Städten gleichen. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass jede Stadt bezüglich naturräumlicher Gegebenheit, Geschichte und Siedlungsentwicklung individuell zu betrachten ist und Schlüsse zu allgemeinen Übertragbarkeiten nur vorsichtig gezogen werden sollten.

Zu der Rekonstruktion der Stadtgräben bzw. deren Verfüllung (s. Kap. 6.4.1, Abb. 35 und 36) ist anzumerken, dass für die in den beiden Abbildungen dargestellten potentiellen Grabenbereiche keine Bohr- oder Grabungsdaten vorliegen. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass sich am ehemaligen Grabenverlauf heute die Ringstraßen befinden, auf denen selten Bohrmaßnahmen vorgenommen werden. Die Vertiefungen im Paläorelief sind daher das Ergebnis der Interpolation der umliegenden Punkte und nur unter Vorbehalt als Stadtgräben zu interpretieren. Für eine solche Interpretation spricht allerdings vor allem der in Abbildung 36 dargestellte Bereich „An der

Schanz“. Hierbei handelt es sich um eine mittelalterliche Zwingeranlage der zweiten Stadtmauer, die durch französische Angriffe im Jahr 1676 schwer beschädigt wurde und im Anschluss geschleift wurde (RHOEN 1894). Zusammen mit der Verfüllung der Gräben könnte dies zur hohen Schichtstärke in diesem Bereich geführt haben. Ist diese Interpretation zutreffend, würde das zusätzlich für die Qualität der hier angewandten Kriging-Interpolation sprechen.

Nachdem die anthropogenen Schichten des Innenstadtbereichs visualisiert waren, führten die in Kapitel 6.4.1 beschriebenen, punktuellen Bereiche hoher Schichtstärke im Bereich außerhalb der zweiten Stadtmauer (s. Abb. 37) zu der Überlegung, die Modellierung auf den gesamten Aachener Kessel auszuweiten. Die Schichten des gesamten Untersuchungsgebiets zeigen dann auch eine andere Verteilung auf. Im Gegensatz zum Bereich innerhalb der Stadtmauern fanden sich hier auf weiten Flächen gar keine anthropogenen Schichten, unterbrochen von konzentrierten Stellen sehr hoher Schichtstärke. Dies führte dann zu den Überlegungen der Grabenverfüllungen (s. o. in diesem Kapitel) und den Verlagerungen von Trümmerschutt des 2. Weltkriegs (s. Kap. 6.6 und 7.6).

7.5 Die 4D-Analyse

Nachdem die Paläotopographie und die anthropogenen Schichten für sowohl den historischen Innenstadtbereich (s. Kap. 6.2) als auch für den Bereich des gesamten Aachener Kessels (s. Kap. 6.4) rekonstruiert und validiert (s. Kap. 6.1) werden konnten, wurde der Versuch unternommen, die Geländerekonstruktion für einen ausgewählten Bereich innerhalb des Untersuchungsgebiets um die zeitliche Komponente zu ergänzen. Da sich hierfür nur die archäologischen Daten eignen und diese im Zentrum der historischen Innenstadt am dichtesten vorlagen, konnte die 4D-Rekonstruktion auch nur für diesen Bereich vorgenommen werden. Allerdings handelt es sich hierbei auch um das Gebiet das seit 2.000 Jahren besiedelt ist und somit die Keimzelle der Stadt Aachen darstellt.

Die Rekonstruktionen der vier Zeitscheiben samt der Veränderungen zwischen diesen wurde in Kapitel 6.5 zusammen mit detaillierten Geländeprofilen dargestellt. Abbildung 72 fasst daher die Geländeentwicklung innerhalb des 4D-Untersuchungsgebiets nochmals zusammen.

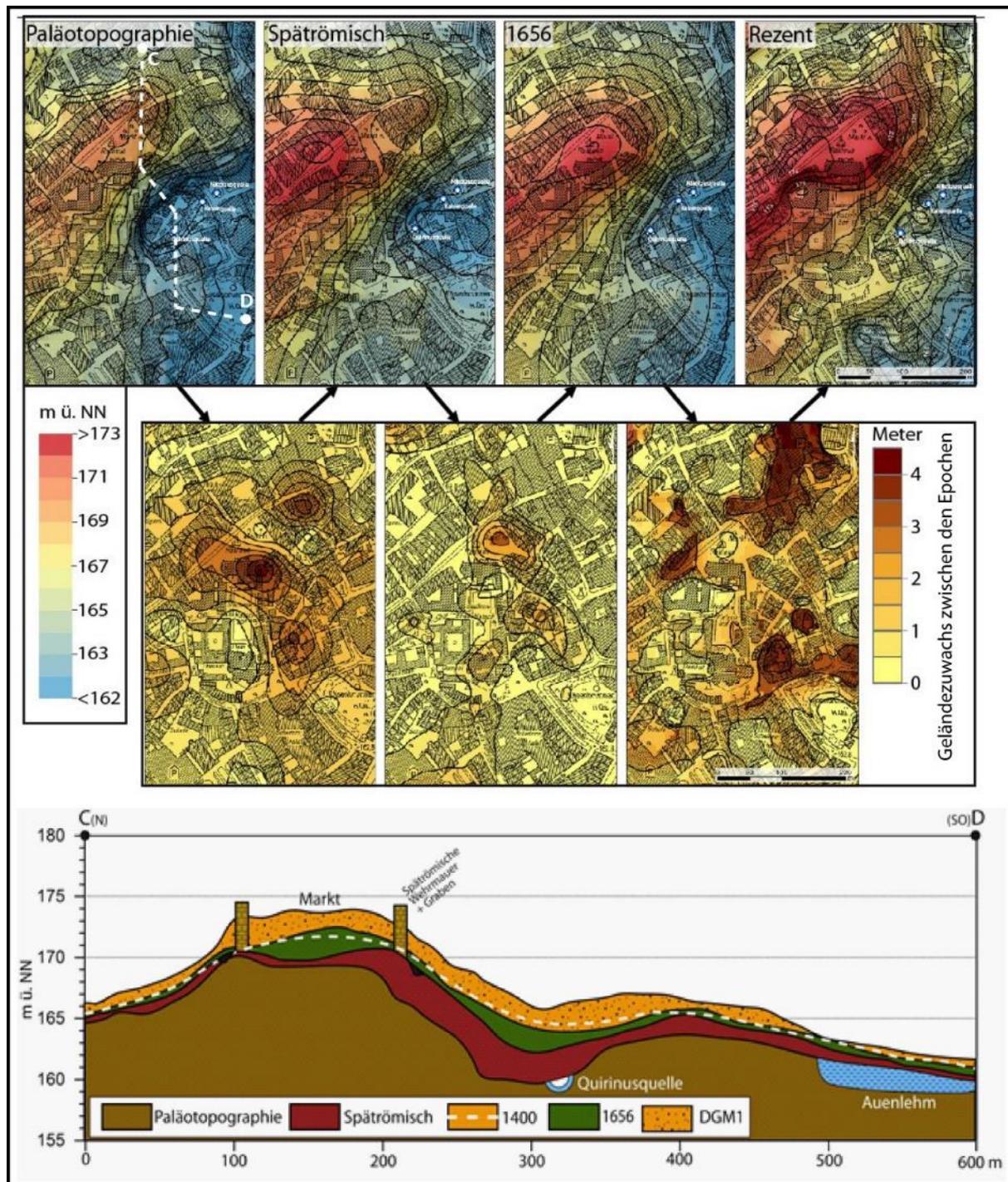


Abbildung 72: Entwicklung der Oberfläche beginnend mit der vorrömischen Paläotopographie bis zur rezenten Oberfläche (oben). In der Mitte ist der horizontale Geländezuwachs zwischen den Epochen dargestellt. Der untere Bereich zeigt das Querprofil aus Kapitel 6.5.4.

Die 4D-Analyse zeigt für den historischen Stadtkern Aachens einen vielschichtigen Aufbau mit einer anthropogenen Schichtmächtigkeit von insgesamt bis zu 7,1 m. Allerdings lassen sich Unterschiede im Anwachsen der Schichten über den Zeitraum von 2.000 Jahren feststellen. Das Wachstum erfolgte weder zeitlich noch räumlich gleichmäßig.

Im Laufe der römischen Besiedlung kam es zu einer ersten Erweiterung des Markthügels in südliche Richtung sowie direkt an der nordöstlichen Seite des äußersten Spornbereichs. Wie bereits in Kapitel 6.5.2 angesprochen, wurde von den Römern der Quellbereich des Thermalwassers massiv überbaut. Dies dürfte zum einen an der Nutzung des heißen Wassers durch die Römer gelegen haben. Es handelt sich hier um den Bereich zwischen „Münster- und Bücheltherme“. Für den Bau der Thermen wurden die Quellaustritte gefasst und die feuchten Niederungen im Quellbereich trockengelegt (SAGE 1982; STRAUCH 1995). Die Rekonstruktion des spätrömischen Reliefs bestätigt dies. Insgesamt zeigt die Rekonstruktion, dass es während der römischen Siedlungsphase zu einem relativ starken Eingriff in die Topographie gekommen sein muss. Die Berechnung der Volumina der anthropogenen Schichten (s. Kaps 6.5.6) zeigte daher auch, dass nahezu die Hälfte des Schichtzuwachses zwischen der ursprünglichen Oberfläche und der heutigen Topographie, zumindest in diesem Bereich, während der römischen Siedlungsphase stattgefunden hat.

Eine ähnliche Entwicklung (Erweiterung/Erhöhung bestehender Hügel und Trockenlegung/Zuschüttung feuchter Flussniederungen) hat MOZZI ET AL. (2018) für die italienische Stadt Padua im Laufe der eisen- und römischerzeitlichen Besiedlung festgestellt.

Der ausgeprägten römischen Siedlungsaktivität steht die mittelalterliche Besiedlung gegenüber, die in der vorliegenden Analyse durch den Zeitraum zwischen dem Ende der römischen Besiedlung und dem Stadtbrand von 1656 bzw. dem Jahr 1400 repräsentiert wird (s. Kap. 6.5.3 und 6.5.4). Der Geländezuwachs bis in die frühe Neuzeit fällt allgemein relativ gering aus. Im Gegensatz zur vorherigen römischen Siedlungsphase wurde aber zentrale Bereich des Markthügels erhöht.

Die Geländesenke im Bereich der Quellen wurde nochmals aufgefüllt, wenngleich nicht mehr so massiv wie durch die Römer. Auch die Volumina zeigen einen nur geringen Geländezuwachs in dieser immerhin ca. 1.100 Jahre andauernden Epoche. Eine Erklärung hierfür wäre die, im Vergleich der Römerepoche, eher geringe Bautätigkeit während des Mittelalters. Mit Ausnahme der Kaiserpfalz und des Doms nutzten beispielsweise die Karolinger weitgehend die römischen Strukturen weiter bzw. bauten selbst vorrangig in Holzbauweise (SCHAUB 2013a). Auch im weiteren Verlauf des Mittelalters spricht einiges für eine eher geringe Bautätigkeit. Zwar wurden die beiden Stadtmauern errichtet, der Raum dazwischen aber bis ins 19. Jahrhundert n. Chr. nicht vollständig bebaut (CURDES 1999; SCHMITT 1972). Somit scheint auch hier die Rekonstruktion der frühneuzeitlichen Oberfläche bzw. der Schichten die historische Entwicklung zu bestätigen.

Die Phase ab dem Stadtbrand 1656 bis heute weist, obwohl nur ca. 350 Jahre umfassend, wieder ein starkes Anwachsen des Geländes auf. Die Siedlungsentwicklung dieser Phase zeichnet sich auch durch eine starke Bautätigkeit im Innenstadtbereich aus. Neben dem Wiederaufbau nach dem Stadtbrand und den Zerstörungen durch die Franzosen (Schleifung der Mauern und Verfüllung der Stadtgräben) im 18. Jahrhundert, führte vor allem die Industrialisierung zu einer Erweiterung der Siedlungsfläche nach Osten (CURDES 1999; ERDMANN 1986; SCHREIBER 1981). Inwieweit sich dies letztlich jeweils auf die Anschüttung im 4D-Untersuchungsgebiet ausgewirkt hat, ist nicht im Detail zu klären. Abbildung 55 zeigt aber in dieser letzten Phase einen massiven Zuwachs an den nordöstlichen und südöstlichen Flanken des Markthügels. Insbesondere die Erweiterung des Markthügels in diese Richtung dürfte für die in Kapitel 6.3 und 7.3 erläuterten Verlagerungen des Johannisbachs und der Ponell verantwortlich sein. Damit lässt sich auch hier, durch die Rekonstruktion der anthropogenen Schichten eine Phase hohen Schichtwachstums mit einer Phase hoher Siedlungsaktivität in Verbindung bringen.

7.6 Die Verlagerung von Trümmerschutt des Zweiten Weltkriegs

Die Verlagerungen des Trümmerschutts des Zweiten Weltkriegs zu bestimmen und zu visualisieren ergab sich aus der Rekonstruktion der anthropogenen Schichten des gesamten Aachener Kessels. Die dort außerhalb der historischen Innenstadt auftretenden Bereiche hoher Schichtmächtigkeit bedurften einer Analyse, da sie durch historische Siedlungsaktivitäten nicht erklärt werden konnten.

Die Analyse (s. Kap. 6.6) hat gezeigt, wie aus der Kombination Relief- bzw. Schichtrekonstruktion und historischen Karten und Quellen die Lage, die Fläche und das Volumen der Trümmerhalden bestimmt werden kann. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass es sich hier zunächst um den Versuch handelte, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entstandenen Ergebnisse aus den Modellierungen einer praktischen oder angewandten „Prüfung“ zu unterziehen, da die ungefähre Lage der Deponien bekannt ist. So konnten die vier als Trümmerdeponien bestimmten Gebiete durch das Umweltamt der Stadt Aachen (Sachgebiet Vorsorgender Bodenschutz) als Trümmergebiete bestätigt werden (FREY-WEHRMANN 2018). Diese Bestätigung zeigt aber, dass die angewandte Methode geeignet ist, eine Vorhersage über die Lage der Gebiete zu treffen bzw. eine potenzielle Fläche auch auszuschließen (s. Tab. 14).

Darüber hinaus ergaben sich aus der Analyse zusätzliche, neue Erkenntnisse. So zeigt die ehemalige Topographie der Deponieflächen, dass der Trümmerschutt stets von erhöhter Position in Geländesenken gekippt wurde. Diese Areale sind folglich heute nicht mehr als Senken erkennbar. Auch das genaue Ausmaß der Deponien sowie deren Volumen sind bisher nicht im Detail bekannt gewesen. Hier ergab die Analyse ein Gesamtvolumen von ca. 2,7 Mio. m³ Trümmerschutt. In der Literatur wird ein Wert von ca. 3,0 Mio. m³ Trümmerschutt erwähnt, der teilweise wiederverwendet und teilweise auf die Deponien verlagert wurde (DEUBNER 2008). Vergleiche sind allerdings nur unter Vorbehalt zu ziehen, da über die „Messung“ der Vergleichszahl nichts bekannt ist und etwaige

Volumenänderungen durch Bodenverdichtung etc. nicht in die Volumenberechnung eingeflossen sind.

Eine weitere Erkenntnis, die aus der Analyse der Trümmerverlagerung gezogen werden kann ist, wie aus der Kombination Paläorelief und der Digitalisierung von Höhenlinien aus historischen topographischen Karten nicht nur das horizontale Aufwachsen des Geländes, sondern auch Geländeabtrag ermittelt und gleichzeitig zeitlich eingeordnet werden kann (s. Abb. 62 und 63).

7.7 Die „Flut von Aachen“

Durch die Erstellung eines Paläo-DGMs ergab sich die Möglichkeit das historische Ereignis der „Flut von Aachen“ aus dem Jahr 1248 zu rekonstruieren bzw. bereits vorhandene Rekonstruktionen neu zu bewerten. Hierzu wurden die bekannten historischen Fakten sowie die bereits vorliegenden Ergebnisse von RHOEN (1894) und EVERS (2011) zusammengeführt und mit den selbst durchgeführten Modellierungen und Rekonstruktionen verglichen.

Sowohl Rhoen (1984) als auch EVERS (2011) konnten mangels Alternativen nur die aktuelle, moderne Topographie für die Ermittlung der Höhen zugrunde legen. Die rekonstruierte Paläooberfläche ermöglichte es nun, diese als Grundlage für neue Modellierungen heranzuziehen. Hier wurde von der Grundannahme ausgegangen, dass das Relief des 13. Jahrhunderts, zumindest in den Bereichen des Staudamms sowie weiten Teilen der überfluteten Fläche, der ursprünglichen Topographie deutlich ähnlicher ist als der modernen Topographie. Diese Annahme wird gestützt durch den Vergleich der topographischen Karte von 1939 mit dem DGM1 in Kapitel 6.6.

Ein grundsätzliches Problem, dem EVERS (2011) bei ihrer hydrologischen Rekonstruktion gegenüberstand war, dass sich der in den Quellen beschriebene Wasserstand sowie die Beschreibungen der Einstaudauer teilweise nicht mit ihren Ergebnissen bestätigen ließen. So führte beispielsweise das Abflussmodell zu deutlich längeren Einstauzeiten. EVERS (2011) begegnete diesem Problem durch die Annahme eines alternativen Dammverlaufs östlich

des Rhoen-Verlaufs, der zu Aufstauzeiten führte die besser zur Quellengrundlage passen (EVERS 2011). Allerdings hatte EVERS (2011) keine Kenntnis über die archäologischen Dammbefunde, die den von ihr vorgeschlagenen alternativen Dammverlauf ausschließen.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Modellierungen bzw. Rekonstruktionen, die als Ergänzungen zu den Arbeiten RHOEN (1984) und EVERS (2011) gesehen werden können, lassen sich zu den folgenden Kernaussagen zusammenfassen:

- Durch die Verwendung des Paläo-DGMs lässt sich das Volumen des Dammes und damit die Zeit bis zum vollständigen Einstau verringern, und kann damit mit den historischen Quellen annähernd in Übereinstimmung gebracht werden. Bei der Rekonstruktion allein auf Basis eines aktuellen DGMs gelingt dies nicht.
- In Kombination mit dem archäologischen Dammbefund konnte aus dem Paläo-DGM ein alternativer Dammverlauf bestimmt werden. Bei diesem handelt es sich im Wesentlichen um eine Kombination aus dem Rhoen-Verlauf und der von EVERS (2011) vorgeschlagenen Dammalternative. Dieser Dammverlauf wäre in sehr kurzer Zeit und in größerer Entfernung zur Stadtmauer zu errichten gewesen. Hierdurch wäre aber auch die Einstaudauer länger geworden.
- Den günstigsten Verlauf bezüglich der Einstaudauer stellt somit der Rhoen-Damm auf Basis des Paläo-DGMs dar. Am schnellsten und sichersten zu errichten gewesen wäre der ebenfalls auf dem Paläo-DGM basierende alternative Dammverlauf.
- Bezüglich der Einstaudauer muss von sehr feuchten hydrologischen Verhältnissen ausgegangen werden, um den Innenstadtbereich annähernd in der überlieferten Zeit zu fluten.
- Die hier durchgeführten Rekonstruktionen gehen von der Richtigkeit der historischen Quellen bezüglich der überfluteten Fläche sowie der Zeiträume aus. Da es sich um Quellen aus Zeiten deutlich nach dem eigentlichen Ereignis handelt, bestehen hier natürlich gewisse

Unsicherheiten. Gleiches gilt für die Niederschlagswerte die dem Abflussmodell zugrunde liegen sowie dem Abflussverhalten des Einzugsgebiets im Mittelalter.

8 Schlussfolgerungen

Die Stadt Aachen kann auf eine 2.000-jährige Besiedlungsgeschichte zurückblicken, die geprägt war von sowohl Phasen des Wachstums, als auch von Zeiten der Stagnation und Zerstörung. Diese wechselvolle Geschichte schlägt sich auch in einer Veränderung der Topographie wieder. Die intensive und andauernde Besiedlung eines urbanen Raums führt meist zu einer stetigen Erhöhung der Oberfläche, bedingt durch das Anwachsen der anthropogenen Siedlungsschichten. Dies konnte jetzt erstmals flächendeckend für den Bereich des Aachener Kessels, in dem ein Großteil des Aachener Stadtgebiets liegt, nachgewiesen und visualisiert werden.

Eine Evaluierung der in einem ersten Arbeitsschritt durchgeführten Rekonstruktion der Paläotopographie und der anthropogenen Schichten des historischen Innenstadtbereichs hat gezeigt, dass die angewendete Methode der Kombination geologischer mit archäologischen und historischen Daten zu validen Ergebnissen führt. Dies steht im Einklang mit anderen, ähnlichen Untersuchungen in urbanen Räumen weltweit.

Für die erfolgreiche Durchführung einer Paläoreliefrekonstruktion ist zunächst eine ausreichend hohe Datendichte notwendig. Darüber hinaus ermöglicht erst die Kombination der verschiedenen Datenquellen eine 4D-Analyse, d.h. eine Aufschlüsselung des anthropogenen Schichtpakets in einzelne Epochen. Dies wiederum ermöglicht es, die Veränderung der Geländeoberfläche bzw. den Einfluss, den der Mensch im Laufe der Besiedlung auf dieselbe gehabt hat, flächendeckend darzustellen.

Durch ein GIS-gestütztes Vorgehen eröffnet sich zudem eine Bandbreite weiterer Ableitungen, die aus dem ursprünglichen Paläo-DGM gewonnen werden können.

Da die Rekonstruktion von Paläooberflächen und Siedlungsschichten eines urbanen Raums immer individuell zu betrachten sind, ist es notwendig, eine möglichst genaue Kenntnis von sowohl der geschichtlichen Entwicklung, als auch von den naturräumlichen Voraussetzungen des jeweiligen Gebiets zu erlangen. Erst dies eröffnet dann neue, umfassende Interpretationsmöglichkeiten zu archäologischen und historischen Fragestellungen unterschiedlichster Zeitscheiben.

9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Rekonstruktion der Paläooberfläche des Aachener Stadtgebiets. Da insbesondere der Innenstadtbereich seit etwa 2000 Jahren vom Menschen besiedelt ist, ist vor allem dieser historische Kernstadtbereich mit teilweise mehreren Metern mächtigen anthropogenen Schichten bedeckt. Auch diese Schichten sollten in ihrer Mächtigkeit sowie ihrer räumlichen Ausbreitung bestimmt und visualisiert werden.

Für die Rekonstruktion wurden archäologische Grabungsdokumentationen und geologische Bohrkerndaten ausgewertet. Diese Analyse erfolgte vor allem im Hinblick auf Höhenwerte, die Hinweise über ehemalige Geländeoberflächen lieferten. Die so gewonnenen Höheninformationen wurden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems unter Anwendung des Kriging-Verfahrens zu digitalen Geländemodellen sowie Modellen der anthropogenen Schichtmächtigkeiten interpoliert. Darüber hinaus konnten die ursprünglichen Verläufe der Aachener Bäche im Innenstadtbereich rekonstruiert werden. Für den Bereich um den Markthügel, der Keimzelle des historischen Aachens, konnten darüber hinaus die Geländeänderungen über mehrere Zeitscheiben hinweg bestimmt und visualisiert werden. Durch eine Ausweitung des Untersuchungsgebiets auf den gesamten Aachener Kessel und die Zuhilfenahme digitalisierter, historischer Karten konnten der Einfluss des Menschen auf die Topographie für weitere, neuzeitliche und moderne Zeitabschnitte dargestellt werden. Ein mehrstufiger

Evaluierungsprozess sollte dabei helfen, die Genauigkeit der Ergebnisse abzuschätzen.

Die im Rahmen der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Paläotopographie des historischen Innenstadtbereichs zeigt die Oberfläche, wie sie die römischen Siedler vorgefunden haben. Der Bereich um die Thermalquellen wies ursprünglich eine große Geländesenke auf, die durch die damals offenliegenden Quellaustritte gebildet wurde.
- Der Verlauf der Aachener Bäche wurde vor allem durch ein Anwachsen des Markthügels verlagert. Hinweise auf zusätzliche, temporäre Gewässer eröffnen neue Interpretationen bezüglich der historischen Nutzung der Gewässer durch den Menschen.
- Die anthropogenen Schichten im Aachener Kessel variieren zwischen nahezu 0 Metern in weiten Teilen außerhalb des Innenstadtbereichs und über 7 Metern im Bereich der römischen Siedlungsfläche und korrelieren im Wesentlichen mit der Dauer der Besiedlung der jeweiligen Flächen.
- Im historischen Kernstadtbereich um den Markthügel konnte das Anwachsen der Siedlungsschichten über einzelne Epochen rekonstruiert werden. Während bereits die Römer für massive Geländeänderungen verantwortlich waren und vor allem die nassen Bereiche um die Quellaustritte aufgeschüttet haben kam es im Verlauf des gesamten Mittelalters zu einer nur relativ geringen Änderung der Topographie. Erst in der frühen Neuzeit kam es wieder zu einer deutlichen Erhöhung und einer Erweiterung des Markthügels in mehrere Richtungen.
- Durch Kombination der Paläotopographie mit historischen Karten konnten die Verlagerungen von Trümmerschutt des Zweiten Weltkriegs visualisiert und quantifiziert werden. Insgesamt konnten vier Trümmerdeponien mit einer Schichtmächtigkeit bis zu 7,1 m rekonstruiert werden.

- Die Neubewertung der „Flut von Aachen“ unter Anwendung der Paläo-oberfläche zeigt beispielhaft, wie die hier angewandten Methoden dabei helfen können, historische Fragestellungen neu zu interpretieren.
- Die Evaluierung der Datengrundlage und der Ergebnisse zeigt, dass neben der Interpolationsmethode vor allem eine ausreichend große Punktdichte für die Genauigkeit verantwortlich ist.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Rekonstruktion der Paläotopographie sowie weiterer Zeitscheiben mit den im Rahmen dieser Arbeit angewandten Methoden möglich ist und teilweise erstaunlich genaue Ergebnisse liefert. Dies zeigt sich nicht nur durch die Ergebnisse der Evaluierung, sondern vor allem auch durch den Abgleich der erstellten Modellierungen mit historischen und archäologischen Erkenntnissen im Untersuchungsgebiet.

10 Summary

The main objective of the present thesis was to reconstruct the paleotopography under the city of Aachen. Aachen has a 2000-year settlement history, and enormous amounts of anthropogenic deposits have accumulated during this time; these deposits are thus also visualized. The key data used are archeological excavation records and geological drilling documents that contain elevation and spatial data.

In this respect, to obtain a sufficient amount of data that enabled detection of the undisturbed deposits and thus the paleo-surface, two main data sources were used. The first source is an archeological excavation documentation. The second source is data from geological drillings conducted within the city area.

All archeological and geological data points were interpolated to a raster using the Kriging algorithm, and the resulting dataset encompassed the entire ancient and medieval settlement area of Aachen. This method was applied twice: initially for creation of the paleo-DEM, and then for interpolation of the

depth of anthropogenic deposits. The paleo-DEM was used as the basis for further modeling to reconstruct the former stream courses for the area around the Market Hill. By using the archeological data, it was possible to break down the deposits to individual layers, representing certain periods. This resulted in a multistratified elevation model of the historic city center. Subsequently the study area was extended to the entire Aachen Basin. For this enlarged area, again the paleotopography and the anthropogenic deposits were created. With these elevation models and by digitizing historic topographical maps, the topography and deposits of the 19th century could be reconstructed. Validation of the interpolated surface was conducted by comparing it with depth data that had not been integrated in the modeling. The evaluation showed the accuracy of the interpolations and therefore the best use of the methods applied.

The results of this thesis can be summarized as follows:

- The paleo-topography of the historic city center shows the pre-Roman topography. On the southern side of Market Hill ridge is a large depression; this is no longer visible today and was probably formed by fluvial erosion from the thermal spring water.
- Due to a backfill of anthropogenic layers on the sides of Market Hill, which led to an expansion of the ridge. As a consequence, the creeks were forced into new riverbeds further north and south. The reconstruction of former streams show water from an additional inflow, thus the streams could have been used, at least temporarily (for example for towing small barques).
- During the Roman period, it came to a huge increase of anthropogenic deposits within the Market Hill area. Especially in the area of the thermal springs the Romans use landfill to drain the wet areas. During the Middle Ages only minor changes in topography have occurred. It was not until the Early Modern time that the accumulation of deposits once again strongly increases and led to the growth of Market Hill.

- With the elevation models and by digitizing historic topographical maps, the World War 2 debris could be made visible and their volume calculated.
- The example of the “Aachen flood” showed how the applied methods and results can extend the knowledge of the settlement history of an urban area.
- The evaluation process shows, that more than the interpolation method, a high data density leads to better results.

The present thesis shows that it is possible to reconstruct the paleo-surface of a dense urban area using several independent databases and sources. In general, the database compiled is considered accurate enough for use in creating a paleo-DEM within an urban area.

Literatur

App, V., Auffermann, B., Hahn, J. et al. (1995): Die altsteinzeitliche Fundstelle auf dem Schwalbenberg bei Remagen. In: Wegner, H. (Hrsg.) (1995): Berichte zur Archäologie an Mittelrhein und Mosel, 4. Trier. S. 11-136.

ArcGIS (2019a): Überblick über das Toolset „Hydrologie“. Online unter: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>

ArcGIS (2019b): Funktionsweise des Werkzeugs „Topo zu Raster“. Online unter: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm>

ArcGIS (2019c): Funktionsweise des Werkzeugs „Kriging“. Online unter: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>

ArcGIS (2019d): Funktionsweise des Werkzeugs „Natürlicher Nachbar“. Online unter: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>

ArcGIS (2019e): Überblick über das Toolset „Oberflächenfunktionen“. Online unter: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/an-overview-of-the-functional-surface-toolset.htm>

ArcGIS (2019f): Abtrag/Auftrag. Online unter: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/3d-analyst/cut-fill.htm>

Azzam, R. (2011): Ingenieurgeologie und Baugrund. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 167-202.

Bertram, F. (1949): Die Aachener Stadtbefestigung im Mittelalter – Ein Beitrag zur Baugeschichte der Stadt Aachen. Dissertation, RWTH Aachen.

Bettfinger, D., Büren, M. (1990): Der Bau des Westwalls 1936-1945, Band 1. Biblio-Verlag. Osnabrück.

- Bobach, T. (2008): Natural Neighbor Interpolation – Critical Assessment and New Contributions. Dissertation, Fachbereich Informatik der Technischen Universität Kaiserslautern.
- Bredden, H. (1960): Neue Erkenntnisse zur Geologie der Aachener Thermalquellen. *Geologische Mitteilungen*, 1. S. 211-238.
- Bredden, H., Brühl, H. & Dieler, H. (1961): Einführung in die Baugrunderkennung 1:5.000 des Aachener Stadtgebiets. *Geologische Mitteilungen*, 1. S. 145-160.
- Bredden, H., Brühl, H., & Dieler, H. (1963): Das Blatt Aachen-NW der praktisch-geologischen Grundkarte 1:5000. *Geologische Mitteilungen*, 1. S. 251-428.
- Brunotte, E., Immendorf, R., & Schlimm, R. (1994): Die Naturlandschaft und ihre Umgestaltung durch den Menschen. Kölner Geographische Arbeiten 63. Geographisches Institut der Universität zu Köln. Köln.
- Bruckner, C. (1967): Zur Wirtschaftsgeschichte des Regierungsbezirks Aachen. In: Rheinisch-Westfälisches Wirtschaftsarchiv (Hrsg.) (1967): Schriften zur Rheinisch-Westfälischen Wirtschaftsgeschichte, Band 16. Köln.
- Buchkremer, J. (1907): Das Grab Karls des Grossen. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 29. S. 68-210.
- Burrough, P., McDonnell, R., Lloyd, C. (2015): The Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. Oxford.
- Cahen-Delhay, A. (1978): Tombelle de l' âge du bronze à Neu-Moresnet. *Archaeologia Belgica*, 206. Service National des Fouilles. Brüssel. S. 27-31.
- Carver, M. (1983): Forty French Towns: an essay on archaeological site evaluation and historical aims. *Oxford Journal of Archaeology*, 2(3). S. 339-378.
- Carver, M. (1987): Underneath English Towns – Interpreting Urban Archaeology. B. T. Batsford. London.
- Chiles, J.P.; Delfiner, P. (2012): Geostatistics – Modeling Spatial Uncertainty. John Wiley & Sons. New Jersey.

- Christ, H. (1953): Das Römerbad unter der Ungarischen Kapelle des Aachener Doms. In: Jahrbuch der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 5. Essen. S. 33-43.
- Conolly, J.; Lake M. (2006): Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge University Press. Cambridge.
- Coels v. d. Brügghen, L. (1958): Die Bäche und Mühlen im Aachener Reich und im Gebiet der Reichsabtei Burtscheid. *Zeitschrift des Aachener Geschichts-vereins*, 70. S. 5-122.
- Cüppers, H. (1982): Beiträge zur Geschichte des römischen Kur- und Badeortes Aachen. In: Cüppers, H. et. al. (1982): *Aquae Granni - Beiträge zur Archäologie von Aachen*. Rheinische Ausgrabungen, 22. Rheinland-Verlag. Köln. S. 91-100.
- Cüppers, H. et. al. (1982): *Aquae Granni - Beiträge zur Archäologie von Aachen*. Rheinische Ausgrabungen, 22. Rheinland-Verlag. Köln.
- Curdes, G. (1999): Die Entwicklung des Aachener Stadtraumes. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur. Dortmund.
- David, M. (1976): The Practice of Kriging. In: Guarascio, M.; David, M.; Huijbregts, C. (Hrsg.) (1976): *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*. Reidel. Boston. S. 31-48.
- Davis, B. (1987): Use and Abuse of Cross-Validation in Geostatistics. *Mathematical Geology*, 19(3). S. 241-248.
- Defourny, P., Hecquet, G., Philippart, T. (1999): Digital terrain modeling: accuracy assessment and hydrological simulation sensitivity. In: Lowell, K., Jaton, A. (Hrsg.) (1999): *Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources*. Ann Arbor Press. Chelsea. S. 61-70.
- Deubner, A. (2008): Trümmerbahnen und Trümmerverwertung. Vahsen und Malchus. Aachen.
- Edgeworth, M. (2016): The ground beneath our feet: beyond surface appearances. In: Mackert, G., Petritsch, P. (Hrsg.) (2016): *Mensch macht Natur - Landschaft im Anthropozän*. Walter de Gruyter. Berlin.

- Ellison, R.A.; McMillan, A.A.; Lott, G.K. (2002): Ground characterization of the urban environment: a guide to best practice. Urban Geoscience and Geological Hazards Programme, British Geological Survey Research Report RR/02/05.
- Erdmann, C. (1986): Aachen im Jahre 1812 – Wirtschafts- und sozialräumliche Differenzierung einer frühindustriellen Stadt. In: Meynen, E. (Hrsg.) (1987): *Erdkundliches Wissen*, 78. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Evers, I. (2011): Ingenieurtechnische Bewertung des Rückstaus der Aachener Bäche im Zuge der Belagerung Aachens im Jahre 1248. Bachelorarbeit, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- Fernandez-Steeger, T., Grützner, C., Reicherter, K., Schaub, A. (2011): Aquisgrani terrae motus factus est (part 1): The Aachen cathedral (Germany) built on weak ground?. *Quaternary International*, 242. S. 138-148.
- Ford, J.R., Price, S.J., Cooper, A.H., Waters, C.N. (2014): An assessment of lithostratigraphy for anthropogenic deposits. In: Waters, C.N. et al. (Hrsg.) (2014): *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene*. Geological Society, Special Publication, 395. London. S. 55-89.
- Frey-Wehrmann, S. (2018): Mündliche Mitteilung. Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt, Sachgebiet Vorsorgender Bodenschutz FB 36/502, Reumontstraße 1, 52058 Aachen.
- Geologisches Landesamt NRW (Hrsg.) (1982): *Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50.000*. Geologisches Landesamt NRW. Krefeld.
- Gerlach, R. (2006): Holozän – Die Umgestaltung der Landschaft durch den Menschen seit dem Neolithikum. In: Kunow, J., Wegner, H. (Hrsg.) (2005): *Urgeschichte im Rheinland*. Verlag des Rheinischen Vereins für Denkmalpflege. Köln. S. 87-98.
- Gläser, E. (1978): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 122/123 Köln-Aachen-Bonn. In: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.) (1978): *Geographische Landesaufnahme 1:200.000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands*. Bonn. S. 46-47.
- Glaser, R. (2013): *Klimageschichte Mitteleuropas*. WBG. Darmstadt.

- Goldberg, P., & Macphail, R. (2006): Practical and Theoretical Geoarchaeology. Blackwell Science. Oxford.
- Gottschalk, M.K.E. (1985): Früher mittelalterlicher Deich- und Wasserbau im Nordseeküstenbereich der Niederlande. Bemerkungen zum Forschungsstand. Archäologie-Geschichte-Geographie, 3. Verlag Siedlungsforschung. Bonn. S. 101-110.
- Grimm, U. (2018): Digitale Modellierung des innerstädtischen Paläoreliefs von Leipzig mittels öffentlich zugänglicher Daten der Landesämter. Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Universität Leipzig.
- Groß, M. (1982): Der Westwall zwischen Niederrhein und Schnee-Eifel. Habelt. Bonn.
- Groß, M. (1998): Westwall – Luftverteidigungszone West – Weststellung im Rheinland. In: Willems, W.; Koschick, H. (Hrsg.) (1998): Der Westwall – Vom Denkmalwert des Unerfreulichen. Rheinland Verlag. Bonn. S. 71-118.
- Groten, S. (2010): Geoarchäologie in Aquae Granni: Geophysikalische Untersuchungen des Aachener Marktplatzes. Bachelorarbeit, Institut Neotektonik & Georisiken der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- Haagen, F. (1879): Historische Topographie Aachens. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 1. S. 31-50.
- Haining, R. (2003): Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge University Press. Cambridge.
- Hausmann, A. (2001): Atuatuka - Cäsars Legionslager in Aachen. Aachen.
- Heinen, M., Schmitz, R., Thissen, J. (2010): Neue paläolithische Fundplätze im Rheinland. In: Otten, T. et al. (Hrsg.) (2010): Fundgeschichten – Archäologie in Nordrhein-Westfalen. Verlag Philipp von Zabern. Mainz. S. 45-51.

- Heinze, W., Hünecke, K., Mächtle, B., Wieland, G. (2017): Geoarchäologische Untersuchungen an den Werkplätzen der frühkeltischen Mahlsteinproduktion am Kirchberg bei Dossenheim. In: Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2016. Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart. Stuttgart. S. 113-117.
- Herwald, M., Stock, L., Thiel, I., Thoben, L. (2013): Handwerklicher und maschineller Wiederaufbau der Stadt Aachen. In: Sowa, A., Wilson, A. (Hrsg.) (2013): Aachen nach 1945 – Fakten und Debatten zum Wiederaufbau. FdR (Freunde des Reiff e.V.). Aachen. S. 15-24.
- Hodgson, M.E., Alexander, B.E. (1990): Use of historic maps in GIS analyses. In: Proceedings of the ASPRS-ACSM Annual Convention, 3. S. 109-116.
- Holliday, V. T. (2004): Soils in archaeological research. Oxford University Press. Oxford.
- Horn, H. (2002): Das Leben im römischen Rheinland. In: Horn, H. (Hrsg.) (2002): Die Römer in Nordrhein-Westfalen. Nikol Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. Hamburg. S. 139-318.
- Huyskens, A. (1940): Stadtbefestigung, Landgraben und Warten der ehemaligen Reichsstadt Aachen. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 61. S. 167-200.
- James, L.A., Hodgson, M.E., Ghoshal, S., Latiolais, M.M. (2012): Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: The temporal dimension of geospatial analysis. *Geomorphology*, 137 (1). S. 181-198.
- James, L.A. (2013): Legacy sediment – Definitions and processes of episodically produced anthropogenic sediment. *Antropocene*, 2. S. 16-26.
- Jenson, S.K., Domingue, J.O. (1988): Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54. S. 1593-1600.
- Kaemmerer, W. (1975): Geschichtliches Aachen - Vom Werden und Wesen einer Reichsstadt. Verlag M. Brimberg. Aachen.

- Kasig, W. (1980): Zur Geologie des Aachener Unterkarbons (Linksrheinisches Schiefergebirge, Deutschland) – Stratigraphie, Sedimentologie und Paläogeographie des Aachener Kohlenkalks und seine Bedeutung für die Entwicklung der Kulturlandschaft im Aachener Raum. Habilitationsschrift, RWTH Aachen.
- Kasig, W. (1987): Karsterscheinungen in devonischen und karbonischen Karbonatgesteinen des Aachener Gebiets. In: Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V. (Hrsg.) (1987): Karst und Höhle 1986/87. Beiträge zur Karst- und Höhlenforschung in den linksrheinischen Gebieten Deutschlands. München. S. 111-117.
- Kasig, W. (2000): Die Nutzung der geologischen Gegebenheiten durch den Menschen im Bereich der Stadt Aachen. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 102. S. 3-9.
- Kasig, W. (2011): Die erdgeschichtliche Entwicklung und die Nutzung der geologischen Gegebenheiten durch den Menschen. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 1-56.
- Keller, C. (2004): Archäologische Forschungen in Aachen. Verlag Philipp von Zabern. Mainz.
- Keller, R. (2019): Der Güterbahnhof Moltkestraße in Aachen – ein Beitrag zur Aachener Eisenbahngeschichte. Online unter: <http://www.guidorademacher.de/Roland%20Keller/Streckengeschichte%20Startseite.htm>
- Knapp, G. (1992): Aachener Wald. In: Rippert, K.-H. (Hrsg.) (1992): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000 – Erläuterungen zu Blatt C 5502 Aachen. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld. S. 52-56.
- Köhler, J. (2013): Aachen und die römischen Thermalbäder. In: v. Haehling, R., Schaub, A. (Hrsg.) (2013): Römisches Aachen – Archäologisch-historische Aspekte zu Aachen und der Euregio. Schnell & Steiner. Regensburg. S. 207-260.

- Kramer, J. (1992): Entwicklung der Deichbautechnik an der Nordseeküste. In: Kramer, J., Rohde, H. (Hrsg.) (1992): Historischer Küstenschutz – Deichbau, Inselschutz und Binnenentwässerung an Nord- und Ostsee. Verlag Konrad Wittwer. Stuttgart. S. 63-110.
- Kraus, T. (1994): Auf dem Weg in die Moderne – Aachen in französischer Zeit 1792/93. In: Lepper, H. (Hrsg.) (1994): Beihefte der Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins, Band 4. Aachen.
- Kraus, T. (2007): Der Aachener Stadtbrand vom 2. Mai 1656 und seine Folgen. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 109. S. 35-99.
- Kraus, T. (2011): Vorwort. In Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. XI-XIX.
- Kraus, T. (2014): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 3/1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen.
- Kühn, H.J. (1992): Die Anfänge des Deichbaus in Schleswig-Holstein. Boyens & Co. Heide.
- Land NRW (Hrsg.) (2017): Datenlizenz Deutschland -Digitales Geländemodell Gitterweite 1 m. Online unter: <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dgm/dgm1/>.
- Lehmkuhl, F. (2011): Die Entstehung des heutigen Naturraums und seine Nutzung. In Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 87-130.
- Ley, J. (2013): Organisation der Pfalzbaustelle. In Kraus, T. (Hrsg.) (2013): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 2. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 169-192.
- Liese, J. (1930): Das Aachener Land in der Steinzeit. Beiträge zur Heimatkunde, 8. Mayer Verlag. Aachen.
- Loibl, D., Lehmkuhl, F. (2013): High resolution geomorphological map of a low mountain range near Aachen, Germany. *Journal of Maps*, 9(2): S. 245-253.

- Luberti, G.M. (2018): Computation of modern anthropogenic-deposit thicknesses in urban areas: A case study in Rome, Italy. *The Anthropocene Review*, 5(1). S. 2-27.
- Luberti et al. (2019): Estimation of the thickness of anthropogenic deposits in historical urban centres: An interdisciplinary methodology applied to Rome (Italy). *The Holocene*, 29(1). S. 158-172.
- LVR (2011): LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland – Prospektions- und Grabungsrichtlinien für drittfinanzierte archäologische Maßnahmen. Online unter:
https://bodendenkmalpflege.lvr.de/media/bodendenkmalpflege/service/pdf_3/Grabungsrichtlinien_2011.pdf.
- Mann, A. (1984): Vicus Aquensis - Der karolingische Ort Aachen. Aachen.
- Mather, J.D., Spence, I.M., Brown, M.J. (1996): Man-made hazards. In: McCall, G.J.H., De Mulder, E.F.J., Marker, B.R. (Hrsg.) (1996): Urban Geoscience. A.A. Balkema. Rotterdam. S. 127-161.
- Mayer, O. (1933): Fundmeldung: Faustkeil aus Aachen Schönforst. In: Bonner Jahrbücher, 138. S. 166.
- McMillan, A.A., Powell, J.H. (1999): BGS Rock Classification Scheme – Classification of artificial (man-made) ground and natural superficial deposits – applications to geological maps and datasets in the UK, 4. British Geological Survey Research Report RR 99-4.
- Mertens, M. (2010): Das prä-römische Relief der Altstadt von Köln. Magisterarbeit, Geographisches Institut der RWTH Aachen.
- Meyer, W. (2013): Die Geologie der Eifel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- Michel, G. (1992): Aachen – Stadt der heißen Wässer. In: Ribbert, K.-H. (Hrsg.) (1992): Erläuterungen zu Blatt C 5502 Aachen – Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld. S. 73-77.

- Mozzi, P., Ferrarese, F., Zangrando, D. et al. (2018): The modeling of archaeological and geomorphic surfaces in a multi-stratified urban site in Padua, Italy. *Geoarchaeology*, 33. S. 67-84.
- Müller, H. (2000): Karolingisches Aachen. In: Kramp, M. (Hrsg.) (2000): Krönungen. Könige in Aachen – Geschichte und Mythos. Katalog zur Ausstellung Aachen 2000. Mainz. S. 223-232.
- Müller, H., Ley, J., Pohle, F., Schaub, A. (2013): Pfalz und vicus Aachen in karolingischer Zeit. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2013): Aachen – von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 2. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 5-408.
- Nelson, A., Reuter, H., Gessler, P. (2009): DEM production methods and sources. In: Hengl, T., Reuter, H. (Hrsg.) (2009): Geomorphometry – Concepts, Software, Applications. Development in Soil Science, Vol.33. S. 65-84.
- Nilson, E. (2006): Räumlich-strukturelle und zeitlich-dynamische Aspekte des Landnutzungswandels im Dreiländereck Belgien-Niederlande-Deutschland. Dissertation, Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der RWTH Aachen.
- Noethlichs, K. (2011): AQUAE GRANNI im 2. Und 3. Jahrhundert - von Domitian bis Diokletian – Historische Voraussetzungen und Hintergründe. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 301-323.
- Nüssgens L. (2011): Vergleichende Untersuchungen fluvialer Sedimente - Der Johannisbach in der Stadt Aachen und die Urft bei Nettersheim. Magisterarbeit, Geographisches Institut der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, Vazken (2003): Improvement of a Parsimonious Model for Streamflow Simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1-4). S. 275-289.
- Pick, R. (1895): Die Aachener Bäche. In: Pick, R. (1895): Aus Aachens Vergangenheit – Beiträge zur Geschichte der alten Kaiserstadt. Aachen. S. 384.
- Poll, B. (1960) (Hrsg.): Geschichte Aachens in Daten. Schmidt Verlag. Aachen.

- Pommerening, J. (1992): Hydrogeologie, Hydrogeochemie und Genese der Aachener Thermalquellen. Dissertation, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften der RWTH Aachen.
- Pröschel, B. (2013): Landnutzung in der Spätantike im nördlichen Rheinland und Indikatoren für einen Wandel. Masterarbeit, Geographisches Institut der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- Pröschel, B., Lehmkuhl, F. (2018): Die Rekonstruktion des Paläoreliefs der Stadt Aachen. In: Schaub A. (Hrsg.) (2018): Gläserne Grabungen – 10 Jahre neue Stadtarchäologie Aachen. Aachener Beiträge zur Baugeschichte und Heimatkunst 9. Neustadt an der Aisch. S. 63–67.
- Pröschel, B., Lehmkuhl, F. (2019): Paleotopography and anthropogenic deposition thickness of the city of Aachen, Germany. *Journal of Maps*, 15(2). S. 269-277.
- Protze, J. (2014): Eine „Mensch gemachte Landschaft“ – Diachrone, geochemische und sedimentologische Untersuchungen an anthropogen beeinflussten Sedimenten und Böden der Niederrheinischen Lössbörde. Dissertation, Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der RWTH Aachen.
- Quix, C. (1829): Historisch-topographische Beschreibung der Stadt Aachen. DuMont. Köln.
- Rapp, G., Hill, C. (2005): Geoarchaeology – The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation. Yale University Press. New Haven.
- Rhoen, C. (1891): Die ältere Topographie der Stadt Aachen. Verlag der Cremerschen Buchhandlung. Aachen.
- Rhoen, C. (1894): Die Befestigungswerke der freien Reichsstadt Aachen. Verlag von Anton Creutzer. Aachen.
- Richter, D. (1985): Aachen und Umgebung – Nordeifel und Nordardennen mit Vorland. Gebr. Borntraeger. Berlin.
- Ribbert, K.-H. (Hrsg.) (1992): Erläuterungen zu Blatt C 5502 Aachen – Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld.

- Rüde, T. (2011): Die kalten Grundwässer und die Thermalwässer. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 131-165.
- Sage, W. (1982): Die Ausgrabungen am Hof 1965. In: Cüppers, H. et. al. (1982): *Aquae Granni - Beiträge zur Archäologie von Aachen*. Rheinische Ausgrabungen, 22. Rheinland-Verlag. Köln. S. 91-100.
- Sarris, A., Kalayci, T., Moffat, I., & Manataki, M. (2018): An Introduction to geophysical and geochemical methods in digital geoarchaeology. In: Siart, C., Forbinger, M., Bubbenzer, O. (Hrsg.) (2018): *Digital Geoarchaeology – New techniques for interdisciplinary human-environmental research*. Springer International Publishing AG. Cham. S. 215-236.
- Schaub, A. (2008): Gedanken zur Siedlungskontinuität in Aachen zwischen römischer und karolingischer Zeit. In: *Bonner Jahrbücher*, Band 208. Verlag Philipp von Zabern. Mainz. S.161-172.
- Schaub, A. (2011a): Aachen von der spätrömischen bis in die frühmittelalterliche Zeit aus archäologischer Sicht. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 405-422.
- Schaub, A. (2011b): Aachen in spätkeltischer Zeit aus archäologischer Sicht. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 244-250.
- Schaub, A. (2011c): Archäologische Befunde in Aachen und Burtscheid. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 251-300.
- Schaub, A. (2013): Archäologie des vicus. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 2. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 321-334.
- Schaub, A. (2017): Mündliche Mitteilung und Überlassung. Stadtarchäologie Aachen, Lagerhausstraße 20, 52058 Aachen.
- Schaub, A. (2019): Mündliche Mitteilung. Stadtarchäologie Aachen, Lagerhausstraße 20, 52058 Aachen.

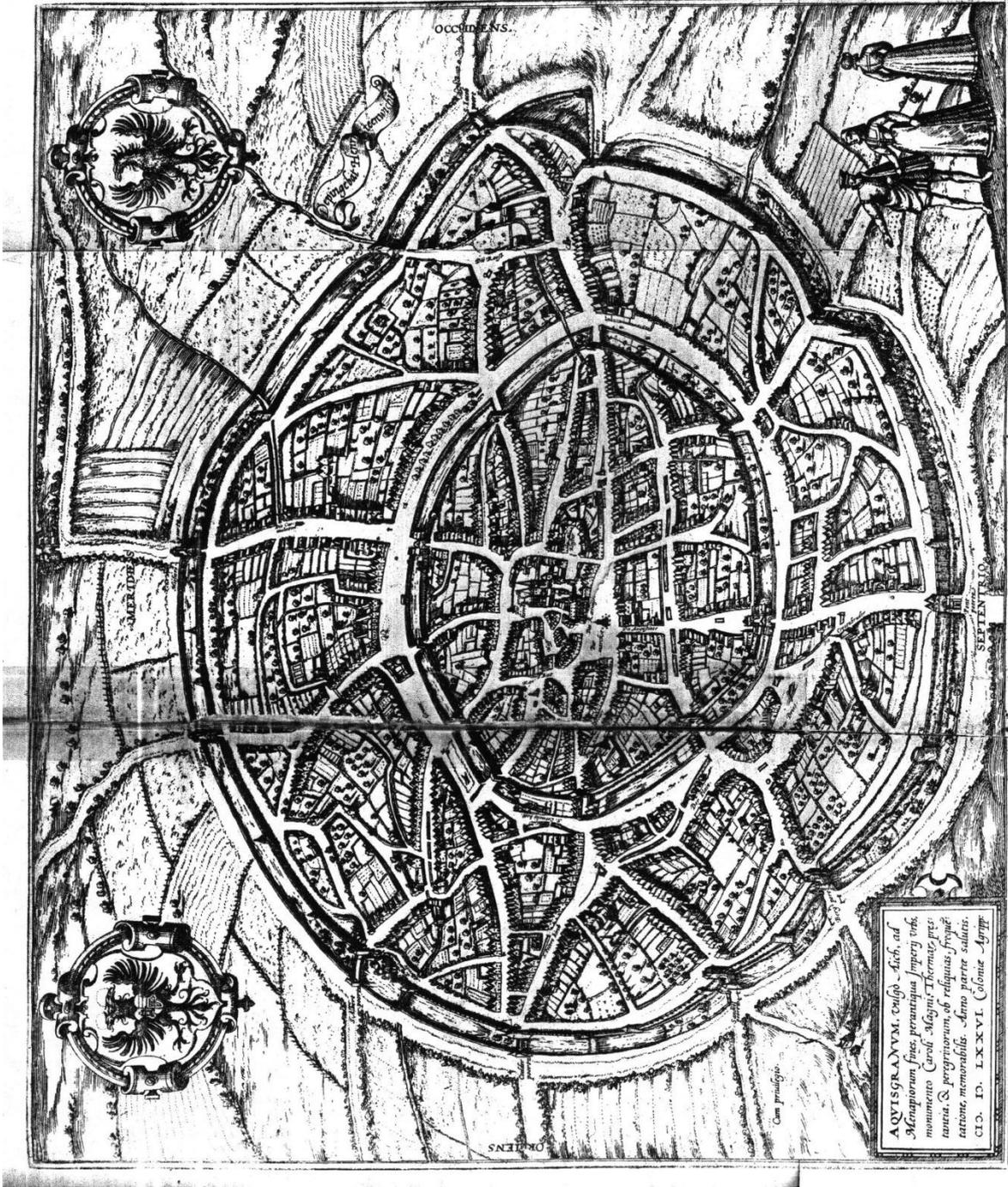
- Scherberich, K. (2011): Historische Voraussetzungen für die Gründung von Aachen-Aquae Granni. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 230-243.
- Schlummer et al. (2014): From Point to area: Upscaling approaches for Late Quaternary archaeological and environmental data. *Earth-Science Reviews*, 131. S. 22-48.
- Schmidt-Hermsdorf, C. und G. (1984): Stadtlesebuch – Ein historischer Längsschnitt durch die Aachener Stadtentwicklung, Werkberichte des Lehrstuhls für Planungstheorie der RWTH Aachen, Planungsgeschichte 2. Klenkes Druck und Verlag GmbH. Aachen.
- Schmidt-Wygasch, C. (2011): Neue Untersuchungen zur holozänen Genese des Unterlaufs der Inde – Chronostratigraphische Differenzierung der Auenlehme unter besonderer Berücksichtigung der Montangeschichte der Voreifel. Dissertation, Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der RWTH Aachen.
- Schmitt, H. (1972): Die städtebauliche Entwicklung Aachens im Mittelalter unter Berücksichtigung der gestaltbildenden Faktoren. Dissertation, Fakultät für Bauwesen der RWTH Aachen.
- Schreiber, T. (1981): Aachen. In: Informationen und Materialien zur Geographie der Euregio Maas-Rhein, 9. S. 1-24.
- Schuldenrein, J., Aiuvalasit, M. (2011): Urban geoarchaeology and sustainability: A case study from Manhattan Island, New York City, USA. The Geological Society of America, Special Paper 476.
- Schyle, D. (2010): Der Lousberg in Aachen - Ein jungsteinzeitlicher Feuersteintagebau mit Beilklingenproduktion. Rheinische Ausgrabungen 66. Verlag Philipp von Zabern. Mainz.
- Schyle, D., Pavlovic, M. (2011): Die Vorgeschichte bis zur spätkeltischen Zeit. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 203-228.
- Seiffert, L. (2010): Oberflächennahe Gesteine unter dem Dom zu Aachen und die Frage der thermalen Domquelle. Bachelorarbeit, Lehrstuhl Hydrogeologie der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.

- Sibson, R. (1981): A Brief Description of Natural Neighbour Interpolation. In: Barnett, V. (Hrsg.) (1981): *Interpreting Multivariate Data*. John Wiley & Sons Ltd. New York. S. 21-36.
- Sokull, J. (2010): *Aachener Stadtbauplanung – Baurecht und kommunale Selbstverwaltung im 19. Jh. und ihr Einfluss auf die Stadterweiterung am Beispiel der Stadt Aachen*. Verlag Mainz. Aachen.
- Stadt Aachen (2014): *Flächennutzungsplan Stadt Aachen Vorentwurf (Stand 2014)*. Online unter: http://www.aachen.de/de/stadt_buerger/planen_bauen/stadtentwicklung/stadt/aachen2030/fundus/presentation1.pdf
- Stadt Aachen (2016): *Statistisches Jahrbuch 2016*. Online unter: http://www.aachen.de/DE/stadt_buerger/aachen_profil/statistische_daten/jahrbuecher/index.html
- Stein, J. (1986): Coring archaeological sites. *American Antiquity*, 51. S. 505–527.
- Strauch, D. (1995): Römische Fundstellen in Aachen. *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins*, 100. S. 7-128.
- Tarboton, D.G., Bras, R.L., Rodriguez-Iturbe, I. (1991): On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*, 5. S. 81-100.
- Van Lanen, R., Kosian, M., Groenwoudt, B., & Jansma, E. (2014): Finding a way: Modeling landscape prerequisites for roman and early-medieval routes in the Netherlands. *Geoarchaeology: An International Journal*, 30(3). S. 1–23.
- v. Haehling, R. (2011): Aachen von der spätrömischen bis in die frühmittelalterliche Zeit (4.-8. Jahrhundert) – Historische Voraussetzungen und Hintergründe. In: Kraus, T. (Hrsg.) (2011): *Aachen – Von den Anfängen bis zur Gegenwart*, Band 1. Mayersche Buchhandlung KG. Aachen. S. 388-404.
- v. Haehling, R., Schaub, A. (Hrsg.) (2013): *Römisches Aachen – Archäologisch-historische Aspekte zu Aachen und Euregio*. Schnell & Steiner. Regensburg.

- Vogel, S., Märker, M., Seiler, F. (2011): Modeling the post-A.D. 79 deposits of Somma-Vesuvius to reconstruct the pre_A.D. 79 topography of the Sarno River plain (Italy). *Geologica Carpathica*, 62. S. 5-16.
- Walter, R. (2010): Aachen und südliche Umgebung. Gebr. Borntraeger. Berlin.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J.A., Summerhayes, C. et al. (2016): The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351. S. 137-147.
- Webster, R., Oliver, M. (2007): *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- Weiner, J. (1984): Der Lousberg in Aachen. Feuersteinbergbau in der Jungsteinzeit. Museen der Stadt Aachen. Aachen.
- Weiner, J. (1990): Intra-Site Analysis by refitting lithic artefacts from a flint workshop on the Neolithic flint-mine Lousberg in Aachen. In: Czesla et al. (Hrsg.) (1990): *The Big Puzzle. International Symposium on Refitting Stone Artefacts. Studies in Modern Archaeology*, 1. Bonn. S. 177-196.
- Weiner, J. (1998): Der Lousberg in Aachen. *Rheinische Kunststätten*, 436. Neusser Druckerei und Verlag GmbH. Neuss.
- Wesolowski, M. (2000): *Das Baurelief von Köln – Eine morphoökologische Analyse und Bewertung. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität zu Köln*. Shaker Verlag. Aachen.
- Westley, K., Plets, R., Quinn, R. (2014): Holocene Paleo-geographic reconstruction of the Ramore Head area, Northern Ireland, using geophysical and geotechnical data: Paleo-landscape mapping and archaeological Implication. *Geoarchaeology: An International Journal*, 29(6), S. 411–430.
- Witten, I.; Frank, E. (2001): *Data Mining – Praktische Werkzeuge und Techniken für das maschinelle Lernen*. Carl Hanser Verlag. München.

Anhang

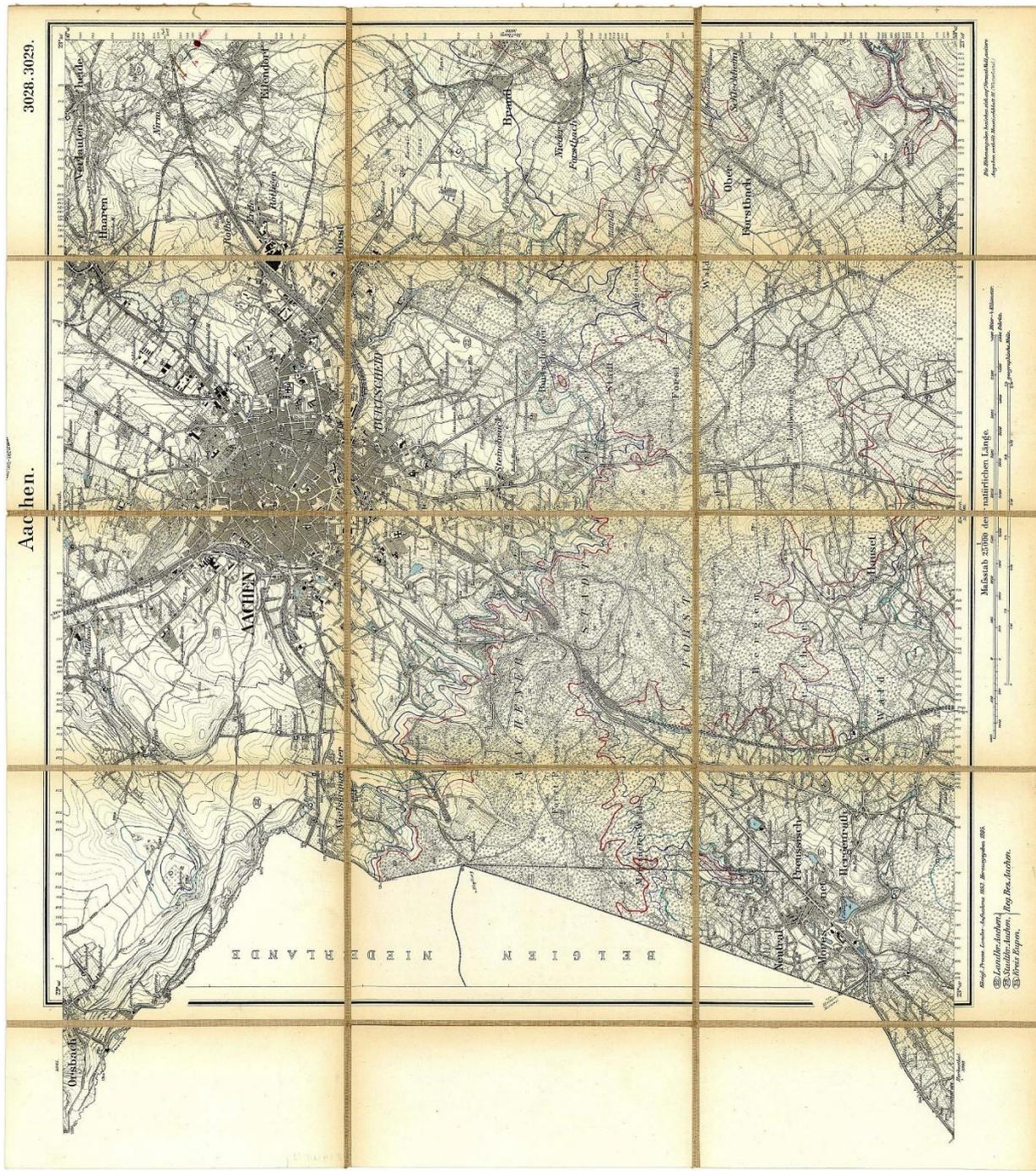
Anhang 1: Kupferstich Aachen von 1576.



Anhang 2: Tranchot-Karte 1805.



Anhang 4: Königlich-Preussische Landesaufnahme 1895.

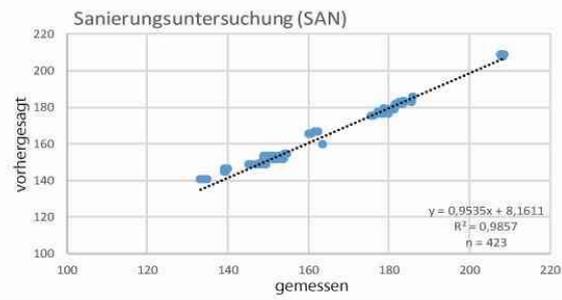
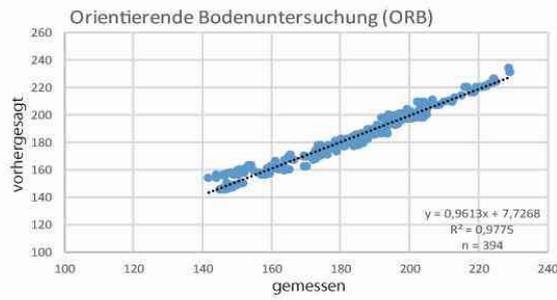
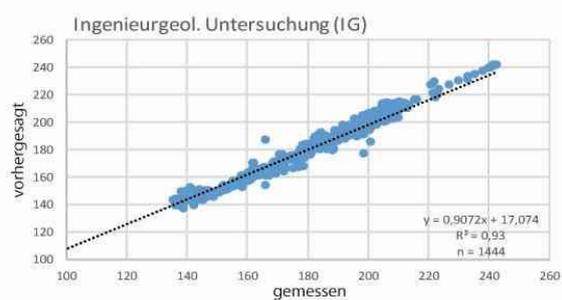
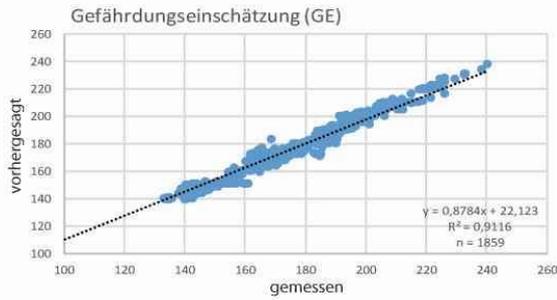
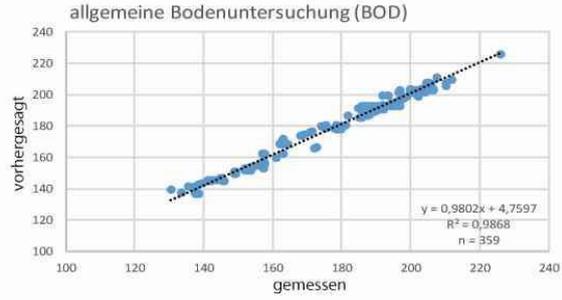
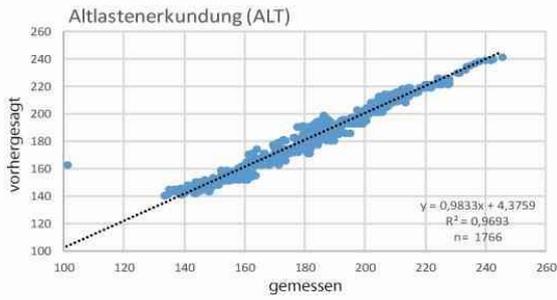


Anhang 5: Topographische Karte 1939.



Anhang 6: Korrelationsdiagramme der GOK-Werte.

Zweck



KoFindung

