

***Unterfangung und Sanierung der Gründung
des Turms der Pfarrkirche Maria Scharten***

Projektarbeit

zu Modul 7080

Ausgewählte Kapitel der Geotechnik (Spezialgrundbau)

im

Studiengang Bauingenieurwesen (berufsbegleitend) Master

von

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Anton Reif

Mat. Nr. 76427

Datum 18.02.2024

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Glossar	4
1 Einleitung	5
2 Ausgangslage, Projektursprung und Angabe zum Projekt	7
2.1 Projektursprung	7
2.2 Angaben zur Baugeschichte/Kirche	7
2.3 Angaben zur geologischen Umgebung und Grundwasser	9
2.4 Kanalbefahrung und Zustand der Grundleitungen	13
2.5 Umgebung (Straßen).....	15
2.6 Probeschurf und Monitoring	15
2.7 Bestandspläne, Bestandsaufnahme und Interpretation	18
3 Theoretische Überlegungen und Gedanken	19
3.1 Beispiele weitere schiefe Türme in der Diözese Linz	19
3.2 Rissmechanik und Möglichkeiten der Verspannung.....	22
3.3 Möglichkeiten der Fundamentunterfangung	25
3.3.1 Verfestigung des Baugrunds durch Injektionen	25
3.3.2 Verbreiterung der Fundamente außen	26
3.3.3 Einbau einer schweren Bodenplatte im Turminnenen.....	26
3.3.4 Eiseitige Pfähle zum Ausgleich der Exzentrizität.....	26
4 Bauteile und Lasten	27
4.1 Turmhelm	27
4.2 Turmschaft	27
4.3 Fundamente	28
4.4 Glocken	29
4.5 Schneelasten	30
4.6 Windlasten	30
4.7 Dynamische Lasten, Erschütterungen.....	31
4.8 Thermische Lasten.....	32
4.9 Überschallknall.....	32
5 Lastaufstellung und Bodenspannungen beim bestehenden Turm..	33
5.1 Querschnittsabmessungen.....	33
5.2 Baugrund/Boden	34

5.3	Lastaufstellung und Spannungen in der Fundamentfläche	35
5.3.1	Ständige Lasten	36
6	Mögliche Lösungsansätze.....	38
6.1	Abschnittsweise Unterfangung.....	38
6.2	Düsenstrahlverfahren	39
6.3	Einbau einer schweren Bodenplatte im Turminnenen.....	39
6.4	Zusammenfassung der 3 Varianten	40
7	Fazit/Schlussfolgerung.....	41
	Literaturverzeichnis	42
	Erklärung.....	43

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Außen Ansicht der Pfarrkirche.....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2: Auszug aus dem "Franziseischen Kataster" von 1824 (Quelle: www.doris.at, abgerufen am 26.10.2023).....</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3 Südliche Außenansicht [Quelle: Pfarre]</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4: Orthofoto samt Höhenschichtlinien (10m) zur Verdeutlichung der hügeligen Umgebung (Quelle: www.doris.at, Abfrage am 26.10.2023, 09:37 Uhr).....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 5: Auszug aus der Bodenkarte des Landes Oberösterreich Samt Lage der zur Verfügung stehenden Bodenbohrungen (Quelle: www.doris.at, Abfrage am 18.02.2024, 08:39 Uhr).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 6: Legende zur Bodenkarte des Landes Oberösterreich (Quelle: www.doris.at, Abfrage am 18.02.2024, 08:39 Uhr).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 7: Auszug aus der Aufschlussesdatenbank des Landes Oberösterreich zu Bohrpunkt 68340 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 8: Auszug aus der Aufschlussesdatenbank des Landes Oberösterreich zu Bohrpunkt 52340 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 9: Auszug aus der Aufschlussesdatenbank des Landes Oberösterreich zu Bohrpunkt 67313 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 10: Auszug aus der Kanalbestandsaufnahme (Quelle: Befund Firma Sturmbeurer).....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 11: Auszug aus der Kanalbestandsaufnahme (Quelle: Befund Firma Sturmbeurer).....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 12: Foto vom Probeschurf 2013 nordseitig vom Turm (Quelle: Pfarre).....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 13: Ergebnis der Probegrabung (Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v. 17.06.2013).....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 14: Abriss der Gewölbeschale des Langhauses (Quelle: Pfarre Scharten).....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 15: Rissmonitoring 2013 (Quelle: Befund DI Weilhartner v. 17.06.2013).....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 16: Rissmonitoring 2013 (Quelle: Befund DI Weilhartner v. 17.09.2014).....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 17: EG-Grundriss der Kirche (Quelle: Firma EP-Laserscanning).....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 18: Beispiel für schiefe Türme in der Diözese Linz (Quelle: Andreas Reif).....</i>	<i>19</i>

Abbildung 19: Außensicht der Pfarrkirche Peuerbach (Quelle: Pfarre).....	20
Abbildung 20: Außensicht der alten Pfarrkirche Pasching (Quelle: Pfarre).....	20
Abbildung 21 Turmschaft Pfarrkirche Maria Scharten inkl. Lotrechte (Quelle Andreas Reif)	21
Abbildung 22: Turmschaft Pfarrkirche Diersbach (Quelle: Bestandsplan).....	21
Abbildung 23: Möglichkeiten zum Verankern von Turmwänden (Quelle [2] Abb.13.24 auf Seite 154).....	23
Abbildung 24: Prinzip Skizze zum Aufspalten des Turmmauerwerks (Quelle: [2] abb.13.22 auf Seite 153).....	23
Abbildung 25: Verspannung des Turmmauerwerks vor den Unterfangungsarbeiten (Quelle: Sanierungskonzept DI Weilhartner, Plan 2, 17.05.2023)	24
Abbildung 26: Möglichkeiten der Fundamentunterfangung (Quelle: [2] Abb.13.26 auf Seite 156) .	25
Abbildung 27: Verformung eins Turmschafts infolge Sonneneinstrahlung (Quelle:[2] Abb.9.11, Seite 82).....	32
Abbildung 28: Querschnittsabmessungen (Quelle Andreas Reif)	33
Abbildung 29: Tabelle auszugsweise aus [3] gem. Tafel 6.27.....	34
Abbildung 30: Skizze und Abschätzung zur vorhandenen Setzung (Quelle: Andreas Reif)	35
Abbildung 31: Ständige Lasten (Quelle: Andreas Reif)	36
Abbildung 32: Berechnungsergebnisse (Quelle: Andreas Reif).....	37
Abbildung 34: Schematischer abschnittsweise Unterfangung (Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v.2018).....	38
Abbildung 35: Schematischer Aufbau bei Anwendung des DSV (Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v.2018).....	39

Glossar

Apsis (auch Abside): Bezeichnung für einen halbkreisförmigen mit einer Halbkuppel überwölbten Raum, der an einen übergeordneten Hauptraum angebaut ist. In der christl. Baukunst: Abschluss eines rechteckigen Langbaues oder Chorraums.

Fünftachtelschluss: (auch: Fünf-Achtel-Schluss oder 5/8-Schluss) ist eine Variante des polygonalen Abschlusses eines Chors in der Kirchenarchitektur. Als weitere Varianten des polygonalen Abschlusses eines Chors kommen auch der 7/10-Schluss, der 7/12- Schluss oder der 9/14-Schluss vor. Ein Rechteckchor oder ein (halb)runder Chorabschluss kennzeichneten bereits den romanischen Kirchenbau.

Presbyterium: (Architektur auch Chor) oder Altarraum in Kirchen, der dem Klerus vorbehalten ist und baulich z.B. durch Chorschranken abgetrennt sein kann.

Schlier (nach Definition aus [1]) ist eine in der regionalen Geologie von Süddeutschland und Österreich verwendete Bezeichnung für verschiedenfarbige oder feinsandige Mergel.

1 Einleitung

Der Kirchturm prägt das Bild einer Landschaft genauso wie das eines Ortes und ist das unverkennbare Merkmal eines Kirchengebäudes. Gerade wenn diese so markant am Rande einer Beckenlage steht wie die der Pfarr- und Wallfahrtskirche Maria Scharten, dann ist Sie oft das Highlight in der Szene.

Nachdem im Jahr 2013 die Pfarrgemeinde erstmals größere Sorgen um den Erhalt der Pfarrkirche äußerte, wurde der Kontakt mit der Diözese gesucht, um Beratung zu erhalten. Nun ging die Reise für die Pfarre erst los, den die Sanierung einer Kirche will gut überlegt und geplant sein. Daher war der eErste Schritt zu untersuchen wie der Bestand beschaffen ist und Planunterlagen zu erstellen. Nach nunmehr 10 Jahren der Vorbereitung ist nun der Punkt gekommen, wo konkrete Konzepte zur Sicherung der historischen Bausubstanz erarbeitet werden sollen. Insbesondere die Setzungen des Kirchturms benötigen besondere Zuwendung. Nunmehr steht die Unterfangung bzw. Stabilisierung des Turms als nächste Maßnahme an.

Ziel der Arbeit ist es den derzeitigen Wissensstand aufzuschreiben, und das Vorhandene Wissen auch interdisziplinär zusammenzutragen, um daraus dann mögliche Lösungen aufzuzeigen. Daher wird im zweiten Kapitel vorbereitend die Datenlage (was ist bereits geschehen) aufgezeigt. Im dritten Teil sind theoretische Grundlagen der Mechanik, sowie ein Abriss zu den zur Verfügung stehenden Literatur zu finden, bevor im vierten Teil Überlegungen zu den Lasten und Bauteilen angeführt werden. Weiterführend werden in Kapitel Fünf die Lasten aufgestellt und die vorhandenen Sohlspannungen aufgezeigt. Abschließend sollen in Kapitel 6 drei mögliche Lösungsansätze skizziert und beschreiben werden.

Neben der Erarbeitung statischer Unterlagen ist die Bauwerkserforschung ein ebenso wesentlicher Aspekt in der Vorbereitung, da Planunterlagen zumeist immer Fehlen und die Errichtung oftmals bereits viele Jahre, wenn nicht Jahrhunderte zurückliegt. Ebenso muss immer mit Besonderheiten wie Umbauten oder bereits erfolgte Sanierungen gerechnet werden.

Nicht weniger außer Acht darf die Betrachtung der Benutzung und zuletzt die der Wartung gelassen werden. Gerade für die Wartung ist es heutzutage besonders schwierig geworden noch Leute und Ressourcen zu finden. Zum einen ist der

Stellenwert der Kirche aus diversesten gesellschaftlichen Gründen im straken Wandel. Zum anderen ist im Bauwesen das präsentisch und der Anspruch bei der Technik zum Highend Sektor zu gehören am Abklingen.

Welche Maßnahmen sollten daher getroffen werden damit der Turm nicht noch mehr Neigung erfährt und für künftige Generationen erhalten bleibt. Gleichzeitig sollten die Maßnahmen aus Sicht der Denkmalpflege so minimalinvasiv wie möglich für die Bausubstanz sein. Auch mit Blick auf die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel gilt es abzuwägen welche Maßnahme treffsicher genug ist. Das der Turm Standsicher ist hat er in seiner nunmehr 500jährigen Geschichte bewiesen. Dennoch gab es immer wieder auch in der Vergangenheit Probleme mit der Neigung.

Die Motivation des Autors ist es daher den Erhalt der historischen Gebäude zu Sichern und neben der praktischen Arbeit wie mit dieser Projektarbeit geschehen auch manche Bauaufgabe in einer theoretischen und tieferen Form zu verschriftlichen als es die Praxis zulässt.



Abbildung 1: Außen Ansicht der Pfarrkirche (Quelle Pfarre)

2 Ausgangslage, Projektursprung und Angabe zum Projekt

2.1 Projektursprung

Ausgangslage war es, dass die Pfarrgemeinde mit Schäden an der Fassade und dem Sockelbereich an den Außenfassaden der Kirche konfrontiert war. Die Schäden waren nicht einheitlich im Schadensbild über den Kirchenbau verteilt und zeigten sich auch nicht systematisch ausgeprägt. Daher begann die Suche nach der Ursache/Quelle der Schäden, welche aber ohne einen Blick auf die baugeschichtliche Vergangenheit nicht beginnen konnte.

2.2 Angaben zur Baugeschichte/Kirche

Die röm.-kath.. Wallfahrtskirche Maria Scharten, steht in der gleichnamigen Gemeinde Scharten. Zugehörig dem Bezirk Eferding mitten im Herzen von Oberösterreich gelegen, steht die Kirche nahe der Spitze eines südlichen Abhangs, an der Randzone des Eferdinger Beckens. Das Patrozinium der Kirche ist der Mariä Geburt geweiht, und ist Teil der Pfarre Eferdinger Landl innerhalb der Diözese Linz.

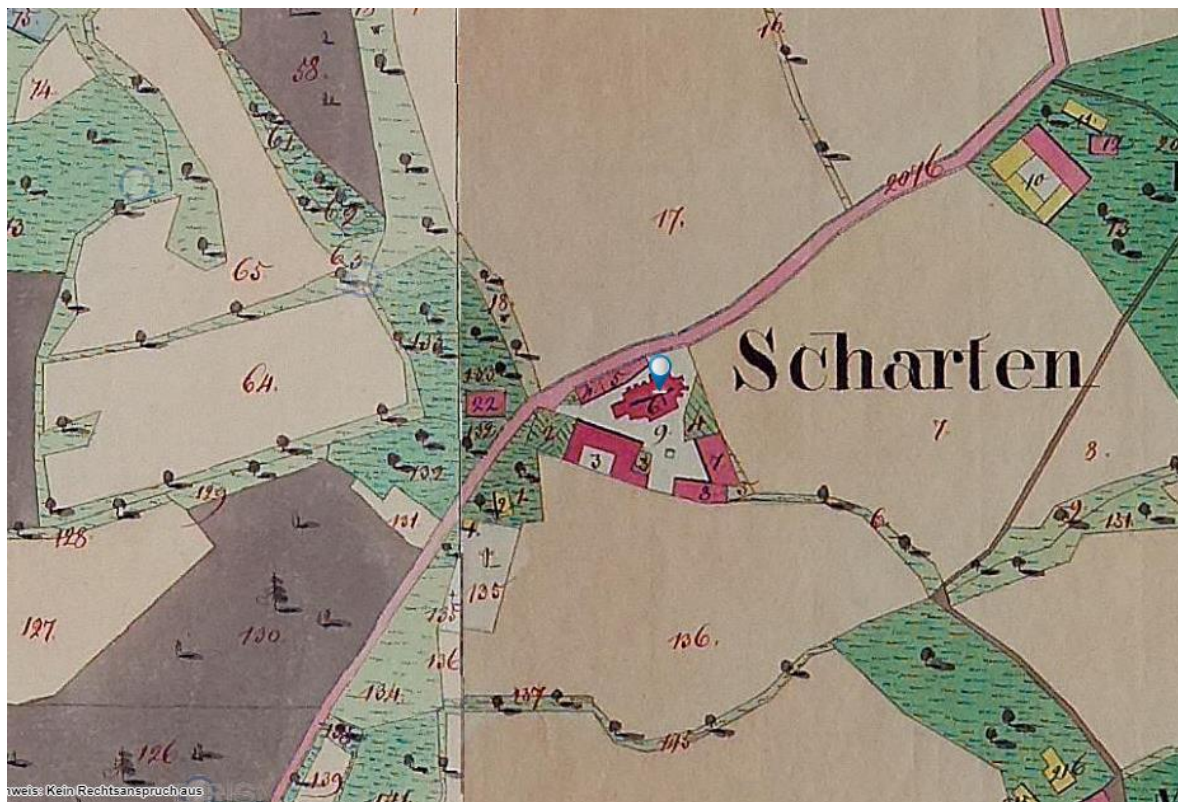


Abbildung 2: Auszug aus dem "Franzische Kataster" von 1824

(Quelle: www.doris.at, abgerufen am 26.10.2023)

Es scheint leider nicht auf, wann die erste Kirche oder größere Kapelle gebaut wurde, allerdings wird eine Kirche in Scharten erstmals in einer Urkunde vom 1400 erwähnt. Der Bau der heutigen Kirche wurde 1506 von den Schaubenbergern begonnen, von 1532 bis 1602 Aufgrund der Religionswirren der Reformationszeit einstellt und erst 1632 fertiggestellt. Diese Kirche liegt etwa 800 Meter vom Standort der ursprünglichen Kirche entfernt.



Abbildung 3 Südliche Außenansicht [Quelle: Pfarre]

Das einschiffige vierjochige stichkappentonnengewölbte Langhaus hat eingezogene Streben. Der gotische zweijochige Chor mit einem „Fünftelschluss“ wurde nach der Entfernung der Gewölberippen mit Architekturmalerei im Stil des Rokokos (um 1770) bis auf die gotische Fronbogenleibung barockisiert. Die Letzten Renovierungsarbeiten sind in der Zeit von 1978-1987 in der Pfarrchronik vermerkt. Es ist nicht belegt, dass die Kirche je von einem Freidhof umgeben war. Das Kirchengebäude (samt Pfarrhof) steht unter Denkmalschutz. Der Großteil der heute umgebende Nachbarbebauung entstammt im wesentlich der Bautätigkeit der letzten 150 Jahre, wobei die Gegend immer noch eine ländliche Prägung besitzt.

oberflächlichen Inhomogenität der Bodenschichten mit besonderer Aufmerksamkeit betrachtet werden, um mögliche Schadquellen ausschließen zu können.

Innerhalb der letzten 15 Jahre wurde im nahen Umkreis der Kirche von 100m das Ortsbild stark verändert und es wurden zunehmend mehr Flächen versiegelt.

Die nähere Geologische Erschließung des Bodens unterhalb der Kirche wurde noch nicht veranlasst. Trotz dieses Umstandes können zur groben ersten Orientierung Daten aus 3 Tiefenbohrungen von anderen Projekten in unmittelbarem Umkreis von ca. 300 bis 600 Meter zur Kirche dienen. Diese belegen ein ebenso indifferentes Bild hinsichtlich tiefer liegender Schichten, analog zur Inhomogenität der Oberflächen nahen Schichten. Weiters ist anzumerken, dass die in den Bohrprotokollen angeführte begriffliche Definition der geogenen Schichtung zu mangelhaft für eine exaktere Klassifizierung ist.

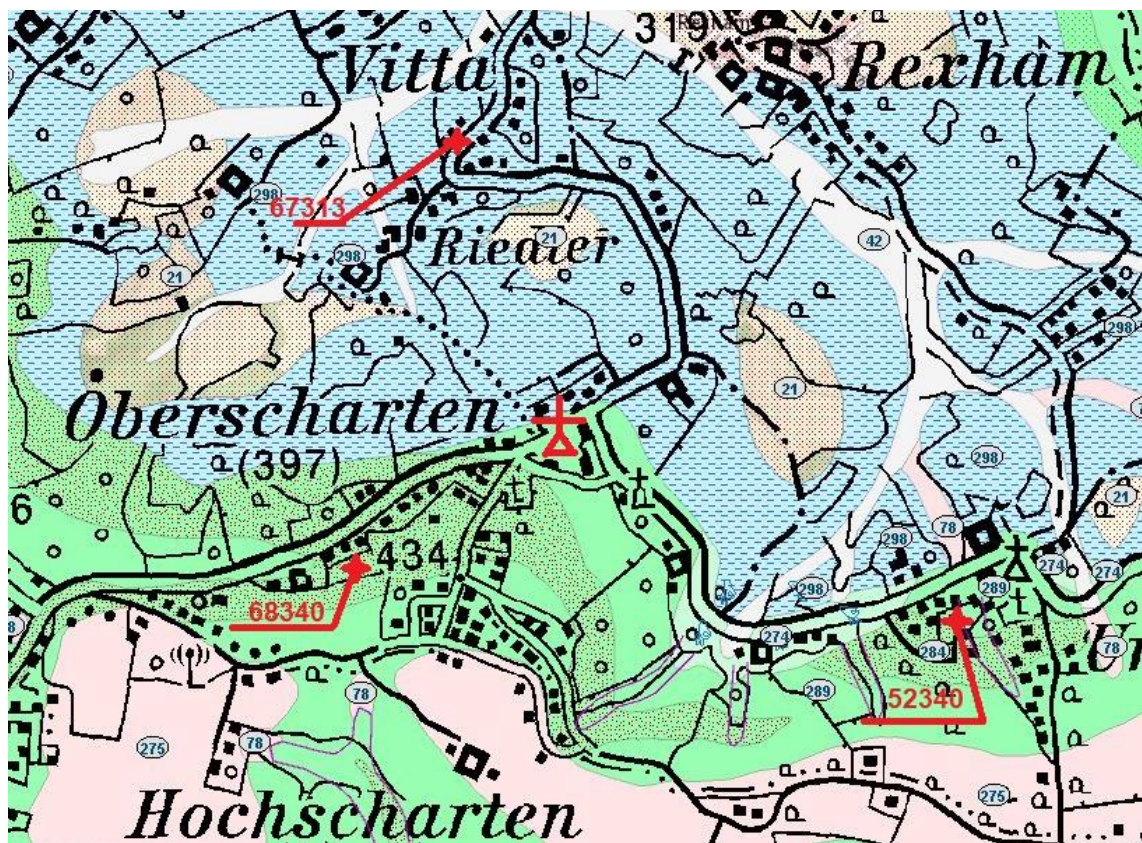


Abbildung 5: Auszug aus der Bodenkarte des Landes Oberösterreich Samt Lage der zur Verfügung stehenden Bodenbohrungen

(Quelle: www.doris.at, Abfrage am 18.02.2024, 08:39 Uhr)













Quartär - Kreide	
	21 Deckschichten; Hangrutschung
	42 Talfüllung; i.a. (rezent), in schmalen Tälern
	62 Löß; Pleistozän
	78 Deckschichten; Periglaziale Dellenfüllung; häufig umgelagert
	274 Siltreicher Mergel und Sand, nicht differenziert
	275 Reliktböden; autochtone Verwitterungsdecke über Ott nang-Sedimenten
	283 Ott nang-Formation
	284 Kletzenmarkt-Glaukonitsand-Fm.
	287 Plesching-Formation; Phosphoritsande, fossilreiche Grobsande
	289 Robuluschlier; s.str., einschl. basale fossilleere Zone
	298 Älterer Schlier
	299 Älterer Schlier; mit Verwitterungsdecke

Abbildung 6: Legende zur Bodenkarte des Landes Oberösterreich
(Quelle: www.doris.at, Abfrage am 18.02.2024, 08:39 Uhr)

DORIS		GeoloGIS - Aufschlussdatenbank			
Donnerstag, 26. Oktober 2023					
Kopfdaten					
Bohrungs-ID:	68340	Bezeichnung:	Scharten - Simmer TS	Aufschlussart:	Bohrung
Geländehöhe:	412,8 m ü. A.	Herkunft GOK:	Eigenermittlung - ALS	Bohrverfahren:	Drehbhrg mit Luftsp.
Endteufe:	125,0 m	Herkunft XY:	DKM	Bohrzweck:	WP/Erdsonde
Rechtswert:	51998	Gauss Krueger M31			
Hochwert:	346024				
Schichtdaten					
Nr	Tiefe ab GOK von...bis [m]	Lithologie nach ÖNORM B4401-4		Stratigraphie	
1	0	9 Lehm		Kletzenmarkter Formation	
2	9	18 Kies		Kletzenmarkter Formation	
3	18	125 Schluff		Robulus Schlier s.l.	

Abbildung 7: Auszug aus der Aufschlussdatenbank des Landes Oberösterreich zu
Bohrpunkt 68340 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023)

DORIS		GeoloGIS - Aufschlussdatenbank			
Donnerstag, 26. Oktober 2023					
Kopfdaten					
Bohrungs-ID:	52340	Bezeichnung:	Gem. Scharten, Gst. 172/17 TS	Aufschlussart:	Bohrung
Geländehöhe:	384,3 m.ü. A.	Herkunft GOK:	Eigenermittlung - ALS	Bohrverfahren:	Drehbhrng mit Luftsp.
Endteufe:	75,0 m	Herkunft XY:	DKM	Bohrzweck:	WP/Erdsonde
Rechtswert:	52985	Gauss Krueger M31			
Hochwert:	345819				
Schichtdaten					
Nr	Tiefe ab GOK von...bis [m]	Lithologie nach ÖNORM B4401-4		Stratigraphie	
1	0	0,2	Mutterboden	Bodenbildung i.A.	
2	0,2	5,7	Ton	Kletzenmarkter Formation	
3	5,7	25	Sand, t	Kletzenmarkter Formation	
4	25	32	Sand, Sst z,	Kletzenmarkter Formation	
5	32	75	Ton	Robulus Schlier s.l.	

Abbildung 8: Auszug aus der Aufschlussdatenbank des Landes Oberösterreich zu Bohrpunkt 52340 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023)

DORIS		GeoloGIS - Aufschlussdatenbank			
Donnerstag, 26. Oktober 2023					
Kopfdaten					
Bohrungs-ID:	67313	Bezeichnung:	Scharten, Kb1	Aufschlussart:	Bohrung
Geländehöhe:	325,0 m.ü. A.	Herkunft GOK:	Projektangabe - ohne Genauigkeitsangabe	Bohrverfahren:	Rotationskernbohrung
Endteufe:	10,0 m	Herkunft XY:	DKM	Bohrzweck:	keine Angaben
Rechtswert:	52030	Gauss Krueger M31			
Hochwert:	346702				
Schichtdaten					
Nr	Tiefe ab GOK von...bis [m]	Lithologie nach ÖNORM B4401-4		Stratigraphie	
1	0	0,2	Anschüttung	Anthropogene Anschüttungen i.A.	
2	0,2	0,5	Schluff, T, s	Älterer Schlier i.A.	
3	0,5	0,8	Schluff und Nebenanteil sandig, stark sandig, kies, T, fs	Älterer Schlier i.A.	
4	0,8	3	Schluff und Nebenanteil sandig, stark sandig, kies, T, fs	Älterer Schlier i.A.	
5	3	3,6	Schluff und Nebenanteil sandig, stark sandig, kies, T, fs	Älterer Schlier i.A.	
6	3,6	6,8	Tonmergel, fs	Älterer Schlier i.A.	
7	6,8	10	Tonmergel, fs	Älterer Schlier i.A.	

Abbildung 9: Auszug aus der Aufschlussdatenbank des Landes Oberösterreich zu Bohrpunkt 67313 (Quelle: www.doris.at, abgefragt am 26.10.2023)

2.4 Kanalbefahrung und Zustand der Grundleitungen

Nach erster Einschätzung wurde die Befahrung des Oberflächen- und Regenwasserkanals sowie einer südseitig verbauten Drainage veranlasst. Auf Grund fehlender Aufzeichnungen und vernachlässigter Wartung des Kanals des Drainagesystems, lagen zahlreiche Schäden vor.

Die Inspektion (Befahrung) des Kanalsystems erfolgte Mittels TV-Kamera samt vorheriger Reinigung durch einen Spühl-/Saugwagen. Die Ergebnisse der Befahrung umfassen 65 Seiten Protokoll in welchem die Exakte Lage, Zustand, Materialien, Schäden usw. entsprechend mit Fotos, Videos, und Planunterlagen dokumentiert wurden

Die Schäden waren dabei aber gleichmäßig über das gesamte Kanalnetz verteilt, sodass diese als konkrete Schadenursache für die Setzung des Turms nicht dienen können. Vielmehr ist festzuhalten, dass die Drainage und der Kanal als grundlegendes Problem für die Feuchteschäden im Sockelbereich anzusehen sind.

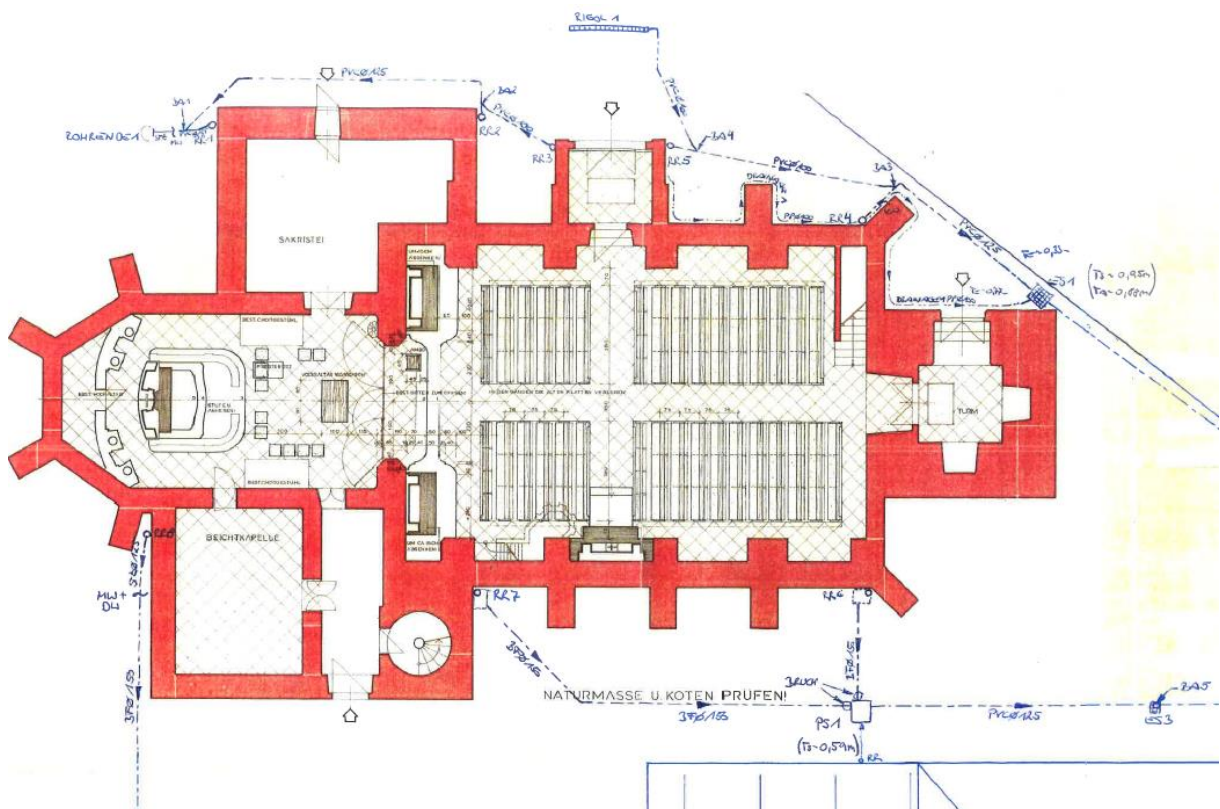


Abbildung 10: Auszug aus der Kanalbestandsaufnahme

(Quelle: Befund Firma Sturmbauer)

Der Kanal ist in seinem Ursprung in dem 1950er Jahren eingebaut worden und wurde bei der letzten Sanierung in den 80er Jahren punktuell ergänzt. Bei der Untersuchung konnten keinerlei Anzeichen einer älteren Kanalisation ausfindig gemacht werden konnte. Der Kanal besteht im Wesentlichen aus Betonfalzrohren im Nahbereich aus der Phase um 1950 und aus PVC-Rohren von der letzten Renovierung bzw. im Öffentlichen Gut. Der Kanal mündet in den öffentlichen Regenwasserkanal (Mischwasser) ein.

An der Südwestecke des Turms befindet sich ein Putzschacht, welcher ebenso wie der darin einmündende Kanal leichte Mängel aufweist. Eine Ausspülung des Bodens in diesem Bereich durch den Kanal liegt nicht vor.

Grundlegend war damit der Turm bzw. die Kirche seit der Erbauung erst in einer letzten kurzen Phase von 60 Jahren mit einem Regenwasserkanal ausgestattet. Es wird daher unterstellt, dass der Kanal für die vorliegenden Setzungsschäden keine Rolle gespielt hat. Dennoch muss man sich um die bei der Befahrung zu Tage getretenen offensichtlichen Schäden im Kanalsystem annehmen, um nicht künftig durch den Kanal Setzungsschäden zu provozieren.

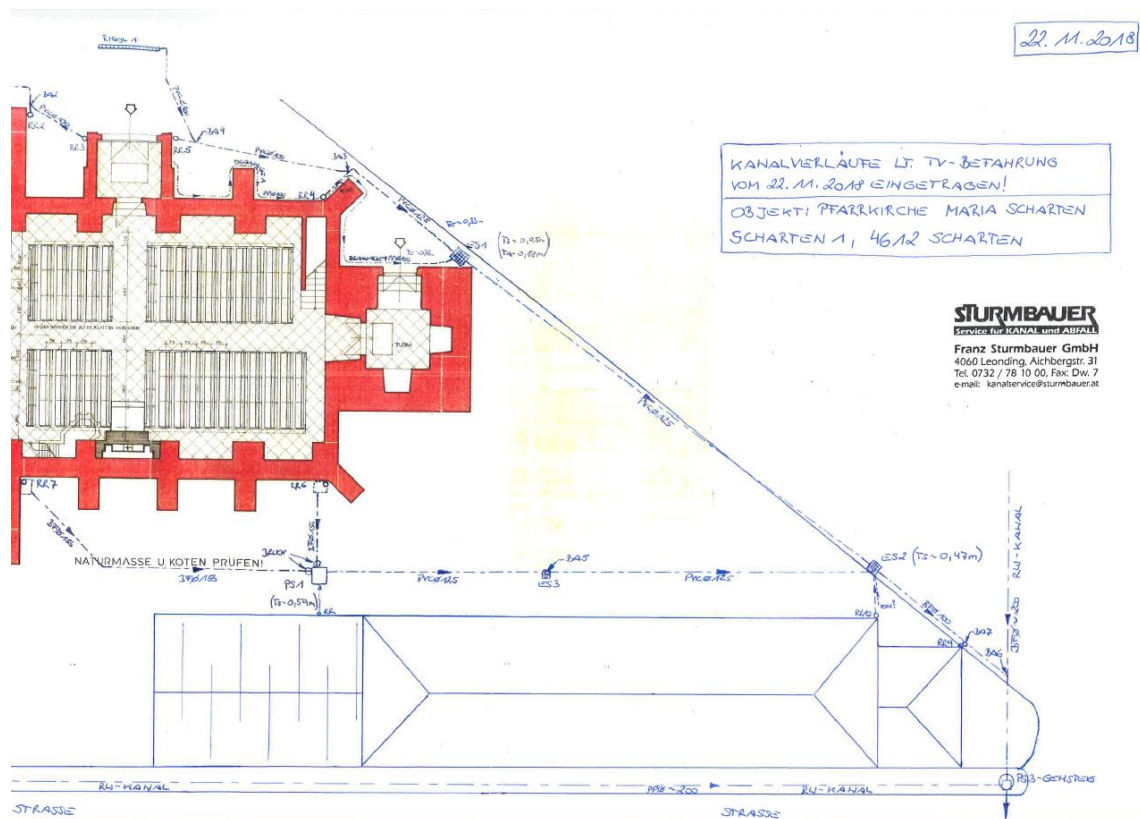


Abbildung 11: Auszug aus der Kanalbestandsaufnahme
(Quelle: Befund Firma Sturmbauer)

2.5 Umgebung (Straßen)

Die Kirche ist auf der Süd- und Ostseite von einer Gemeindestraße umgeben. Hier befindet sich eine Bushaltestelle und es herrscht hier überwiegend nur Verkehr zur Anlieferung bzw. Personenbeförderung. Nordseitig verläuft in einem Abstand von ca. 20m, samt einem dazwischen liegenden parallel zum Langhaus der Kirche verlaufendes Nachbargebäude die Schartner Landesstraße. Auf dieser rollt auch Schwerverkehr, welcher seit ca. 2 Jahre mit verminderter Geschwindigkeit von 30km/h (vormals 50km/h) unterwegs ist.

2.6 Probeschurf und Monitoring

Die Schiefstellung des Turms ist schon seit längerem bekannt. Erste Aufzeichnungen finden sich in den Akten des Baureferats (Diözese Linz) seit dem Jahr 2013. Daraufhin wurde eine Probegrabung zur Erkundung des direkt anliegenden Bodens samt Setzung von Rissspionen veranlasst.



Abbildung 12: Foto vom Probeschurf 2013 nordseitig vom Turm (Quelle: Pfarre)

Der Probeschurf wurde bis in eine Tiefe von -2,30m unter dem bestehenden Gelände vorangetrieben. In diesem Zuge konnte auch die Fundamentunterkante auf einem Niveau von -1,90m ermittelt werden. Eine Verdickung des Mauerfußes wurde nicht ausgeführt, sodass das Turm Mauerwerk ohne Sprung im Sockel ins Erdreich führt.

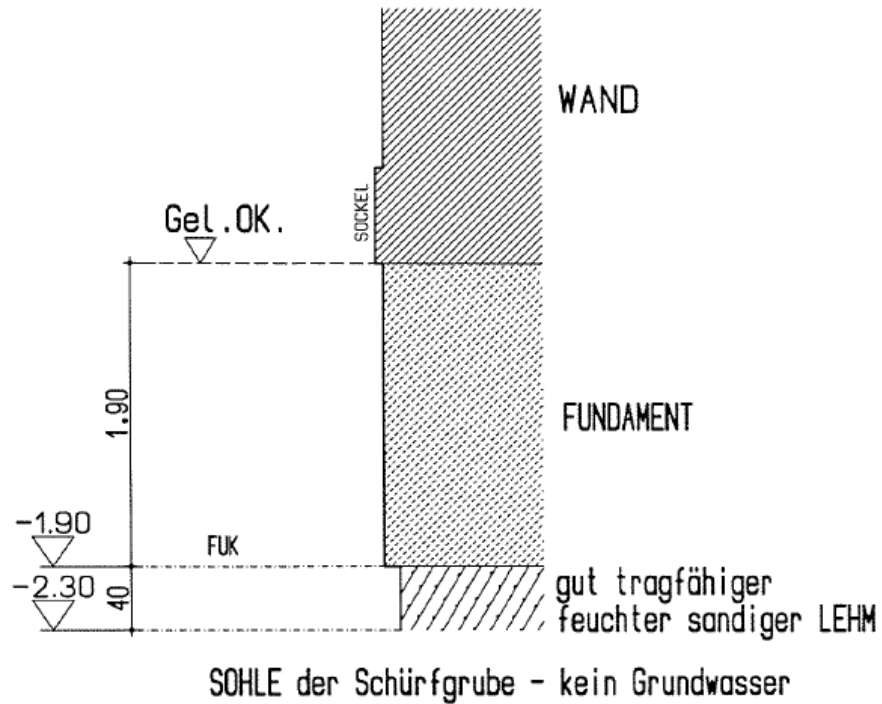


Abbildung 13: Ergebnis der Probegrabung

(Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v.17.06.2013)

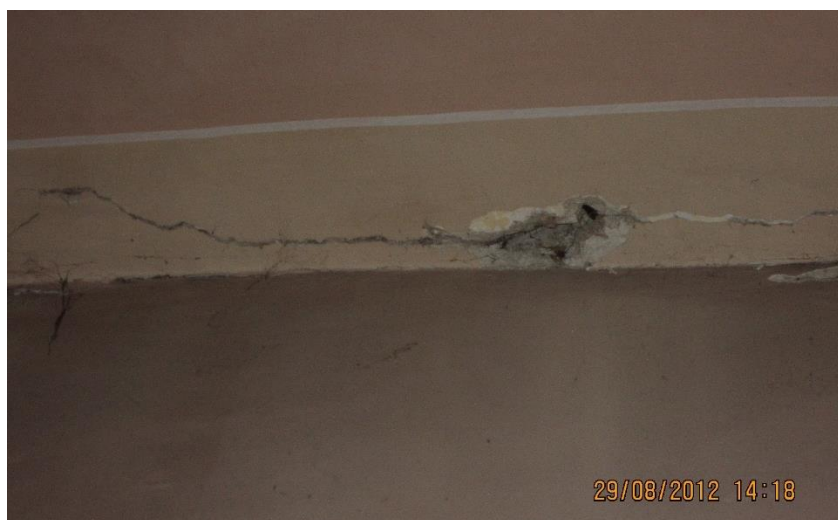


Abbildung 14: Abriss der Gewölbeschale des Langhauses vom Turmmauerwerk

(Quelle: Pfarre Scharten)



Abbildung 15: Rissmonitoring 2013 (Quelle: Befund DI Weilhartner v. 17.06.2013)



Abbildung 16: Rissmonitoring 2013 (Quelle: Befund DI Weilhartner v. 17.09.2014)

2.7 Bestandspläne, Bestandsaufnahme und Interpretation

Zu Beginn einer jeden Baumaßnahme ist die Planung einer der Ersten Schritte. Bei einem Bestandsgebäude, welches im Kern auf Spätgotischer Bausubstanz beruht, ist es um eine nach heutigen Maßstäben geeignete Plangrundlage zumeist nicht gut bestellt. Deshalb wurde 2019 die Kirche mittels Laserscanner 3-dimensional Vermessen. Dabei konnte vorhanden Verformungen sozusagen konserviert in ihrem damaligen Zustand aufgezeichnet werden. Nichtsdestotrotz erstreckt sich der Lebenszyklus des Gebäudes bereits über 500 Jahre. Daher ist es ebenso notwendig im Pfarrarchiv bzw. dem Panarchiv der Diözese nach Plänen Jüngerer Umbauten/Sanierungen zu suchen, um ein fundiertes Bild über den vorhanden Überlieferten Zustand und die Substanz zu erhalten.

Selbst mit den Vorliegenden Unterlagen ist das aussagekräftigste Mittel jedoch die Zusammenschau aus Archivunterlagen und dem Gebäude selbst. Erst der Blick im Turminneren verhilft zu verstehen welche Summe an Gegebenheiten und Einwirkungen zu dem Vorliegen Schadensbild führen. Wichtige Erkenntnis ist das der Turm in den unteren Zwei Dritteln aus Bruchsteinmauerwerk (Gotische Phase) und einer Erhöhung im oberen Drittel aus Ziegelmauerwerk (Barocke Erhöhung) besteht. Dieser Umstand erschließt sich nun mal nicht sofort aus den angefertigten Plänen des Laserscanning.

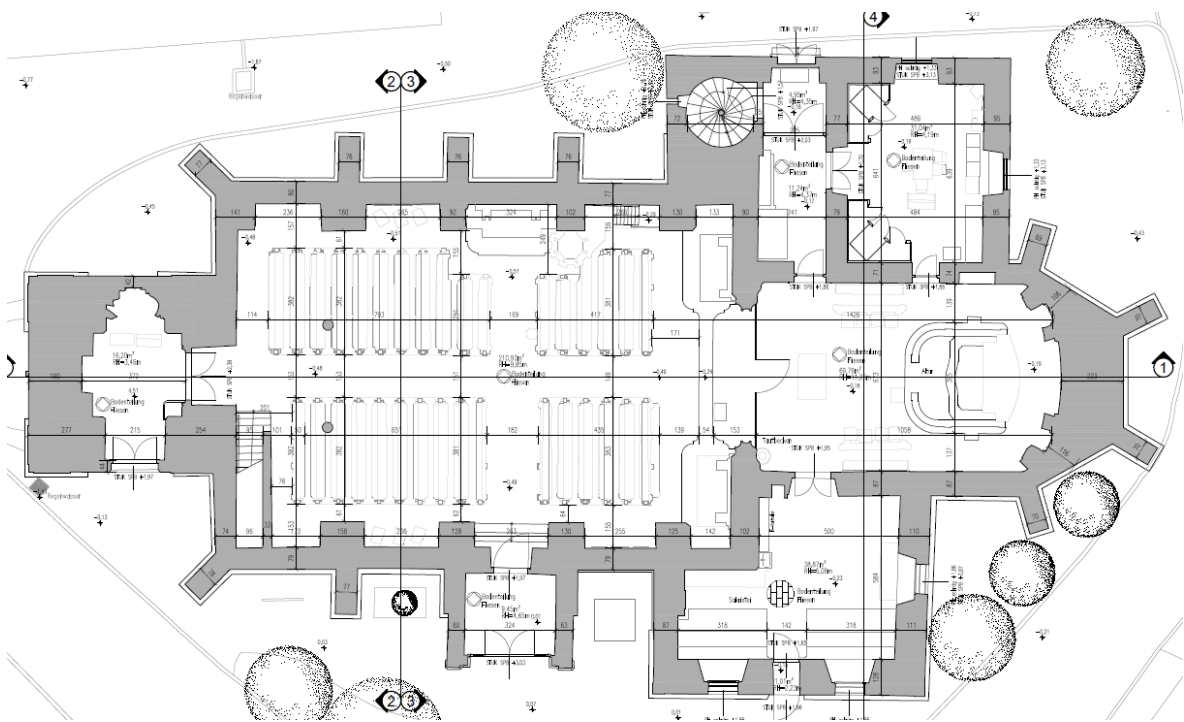


Abbildung 17: EG-Grundriss der Kirche (Quelle: Firma EP-Laserscanning)

3 Theoretische Überlegungen und Gedanken

3.1 Beispiele weitere schiefen Türmen in der Diözese Linz

An Kirchtürme wurden immer hohe Ansprüche gestellt. Ihre Kubatur und Höhe, sind wie man sich vorstellen kann, mit Sicherheit zu jeder Zeit immer am Rande des technisch Machbaren und der Leistbarkeit gelegen. Leider ist gerade deswegen oftmals auch aus Not oder Geltungsdrang versucht worden bei der Errichtung Kosten zu sparen. Daher kommt es nicht selten vor, dass die Kernauffüllung eines Mehrschaligen Turmmauerwerks aus Minderwertigeren Materialien besteht und die Fundamente nur so weit in den Boden gegraben wurden als die Tradition es forderte und der Baumeister für richtig erachtete. Vielfach ist hier in den Anfängen des Steinkirchenbaus kein Unterschied zwischen Kirchtürmen und Wehrtürmen in der Bautechnik zu erkennen. Oftmals haben diese in der heutigen Sanierung mit ähnlichen Problemen und Schäden zu kämpfen. Kommt jetzt eine spätere Aufstockung noch hinzu, liegt es klar auf der Hand dass das System an seine Grenzen gebracht wird.

Zur Diözese Linz gehören ca. 700 Kirchengebäude, wobei nicht alle einen Turm haben, manche aber auch wieder Zwillingstürme usw. und die exakte Anzahl auch nicht feststeht. Jedoch gibt es mehrere Bekannte Beispiele die daher in folgender Tabelle angeführt werden. Der Anspruch auf Vollständigkeit kann nicht gegeben sein. Auch eine Exakte Definition ab wann ein Turmbauwerk in diese Liste aufgenommen werden sollte, existiert nicht.

Kirche (Ort/Pfarre)	Turmhöhe [m] (GOK bis Traufe)	Überhang (ca. in m)
Pfarrkirche Diersbach	32,5m	ca. 1m (nach West)
Pfarrkirche Peuerbach	34,0m	ca. 0,75m (nach W)
Alte Pfarrkirche Pasching	25,0m	ca. 0,80m (nach W)
Pfarrkirche Maria Scharten	33,0m	ca. 0,18m (nach W) (bzw. 1,20m Ostseitig)

Abbildung 18: Beispiel für schiefe Türme in der Diözese Linz

(Quelle: Andreas Reif)



Abbildung 19: Außen Ansicht der Pfarrkirche Peuerbach (Quelle: Pfarre)



Abbildung 20: Außen Ansicht der alten Pfarrkirche Pasching (Quelle: Pfarre)

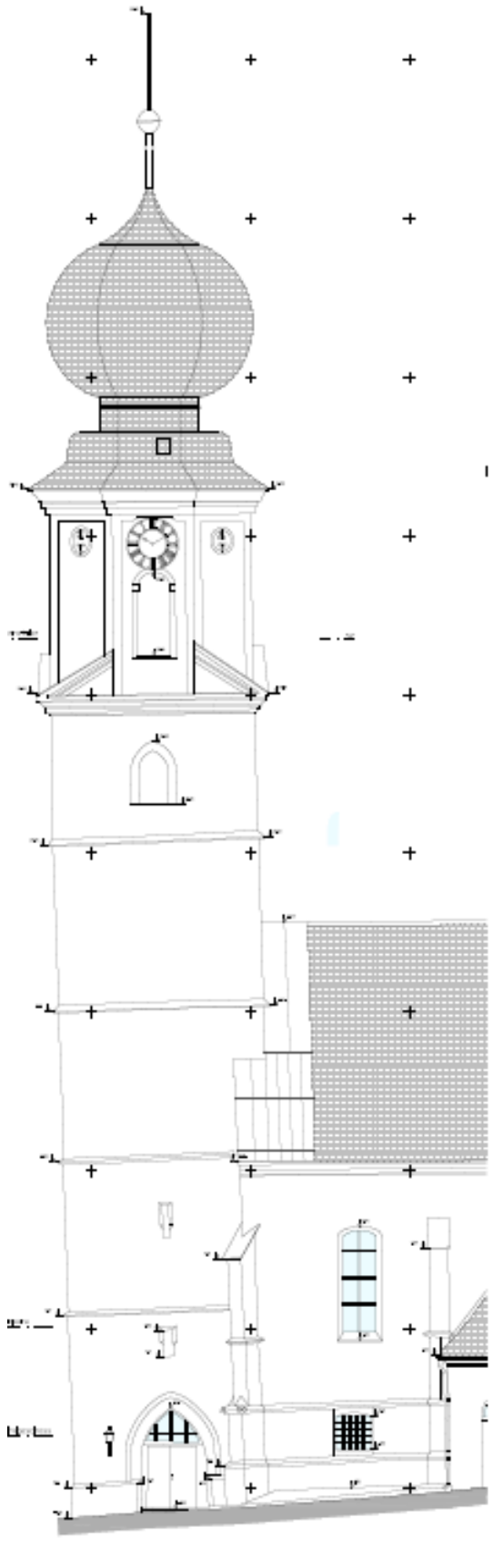


Abbildung 22: Turmschaft Pfarrkirche Diersbach (Quelle: Bestandsplan)

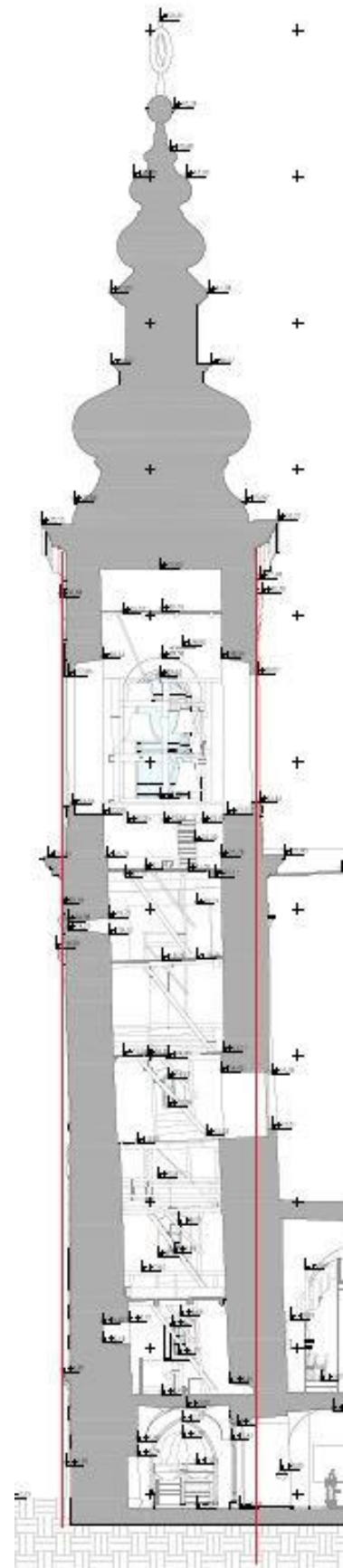


Abbildung 21 Turmschaft Pfarrkirche Maria Scharn inkl. Lotrechte (Quelle Andreas Reif)

3.2 Rissmechanik und Möglichkeiten der Verspannung

Durch Bewegungen im Turmschaft unter Wind- und sonstigen Lasten wird der Boden in den Randzonen der Fundamente zusammengedrückt welche zum Teil bei Entlastung erhalten bleiben. Wenn der Boden somit in den Randzonen zusammengedrückt wurde, kommt es zum sogenannten „Reiten“ des Turmbauwerks auf dem mittleren Teil der Fundamente. Die Lasten werden dabei in der Mitte des Turmmauerwerks konzentriert. Da in der Mauerwerksmitte des Turmschaftes oft Störungen durch, Öffnungen usw. vorhanden sind können die ohnehin nicht gut aufnehmbaren Zugspannungen aber nicht mehr aufgenommen werden. Um die Last aber dorthin zu verlagern, müssen Zugkräfte in den Turmwänden, eventuell durch Verankerung der Außenwände entstehen. Um auch die Lasten aus Eigengewicht nach unten hinzukonzentrieren sind oberhalb im Turm Zugspannungen notwendig, Diese können durch Störungen oder auf Grund der Tatsache das die Mauern als Mehrschaliges Mauerwerk aufgebaut sind, zur Spaltung des Turms beitragen. Wenn der Turm durch Achsriss gespalten ist, wird durch größere Formveränderungen der beiden Hälften unter Windlasten das Mauerwerk zusätzlich durch Scherbewegungen beansprucht.

Allen zuvor angeführten Überlegungen und Verformungen muss entgegengewirkt werden. Vernachlässigung solcher Schäden vergrößern sich meist schnell und machen deren Sicherung hinterher oft schwieriger. Redundanz so wie Wartbarkeit sollten aber bei der Wahl einer möglichen Lösung ebenso berücksichtigt werden wie der Brandschutz, Temperaturänderungen, Korrosion. oder Belange des Denkmalschutzes.

Bewährt haben sich eingeklebte Gewindestangen, angeordnet an den Innenecken des Turmmauerwerks, die weitreichend ins Mauerwerk eingebunden werden. Bei Mehrschaligem Mauerwerk wird so einem Aufspalten der Schalenbereiche durch den Anschlusswand natürlich begegnet. Weiters sind im Eckbereich sowohl außen als auch innen größere Ecksteine verbaut wurden, wodurch die Verankerung günstig unterstützt wird. Wesentliches Detail ist aber das Spannschloss, das mittels Anschlagens schnell hörbar auf seine Spannung geprüft werden kann. Diese Verspannungen sind vor Unterfangungsarbeiten einzubauen und nach Abschluss dieser eventuell nachzuspannen.

Die folgenden Beiden Abbildung 19 und 20 dienen nochmals zur Verdeutlichung der zuvor beschriebenen Thematiken. Weiters ein Lösungsvorschlag für die Sicherung des Turm Mauerwerks in Abbildung 21.

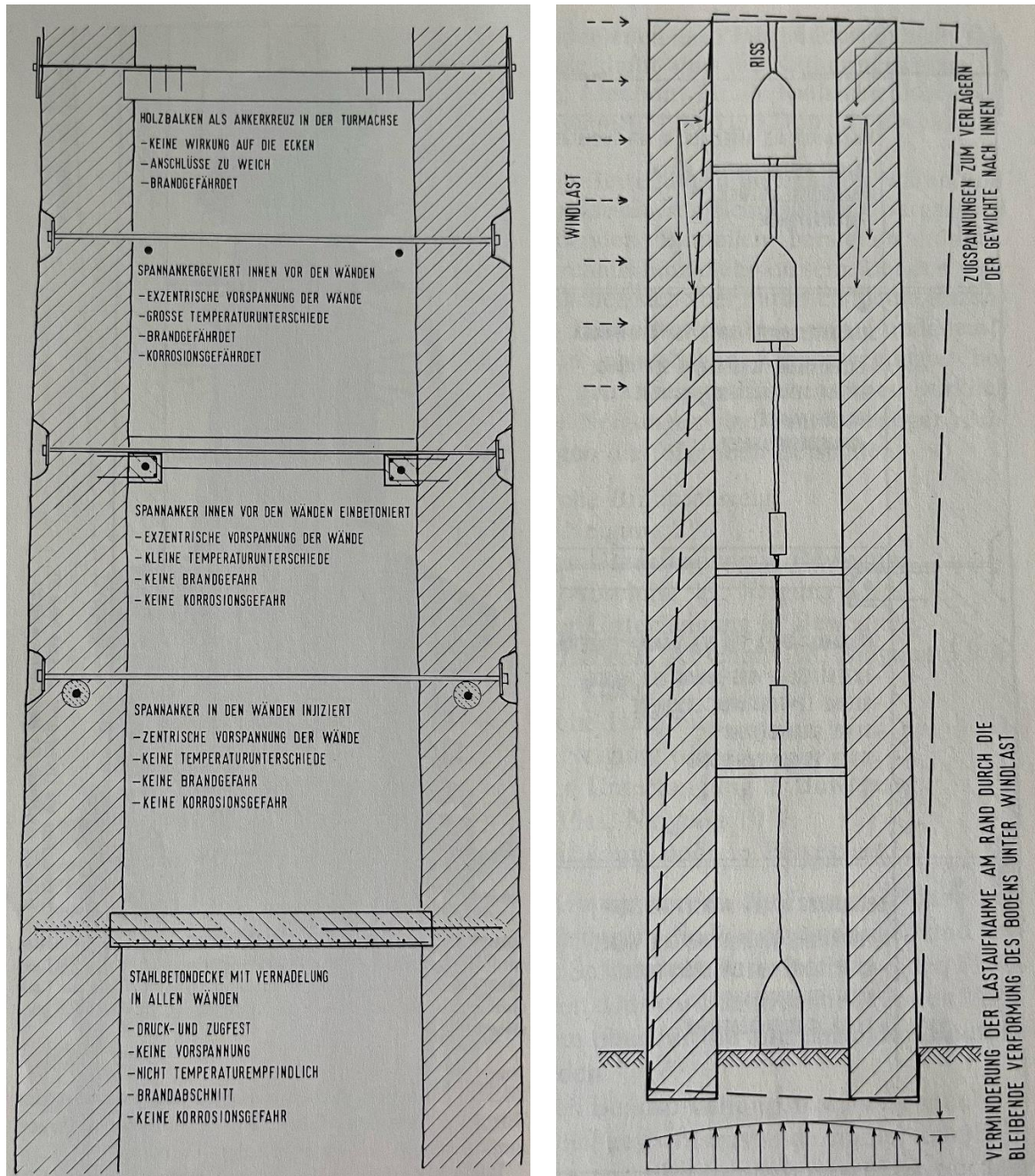
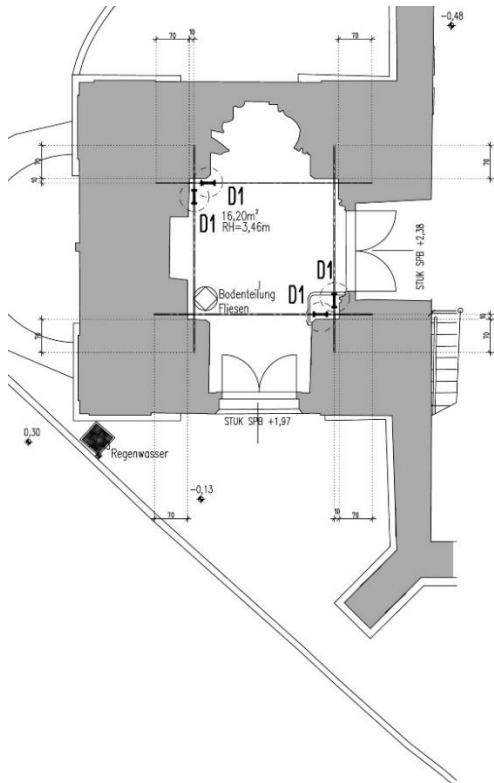


Abbildung 23: Möglichkeiten zum Verankern von Turmwänden

(Quelle [2] Abb.13.24 auf Seite 154)

Abbildung 24: Prinzip Skizze zum Aufspalten des Turmmauerwerks

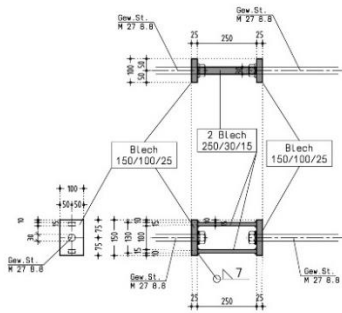
(Quelle: [2] abb.13.22 auf Seite 153)



!Genau Lage vor Ort mit Statiker klären!

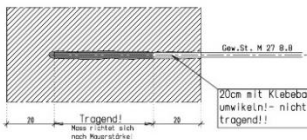
Detail A M 1 10

Gewindestange M27 24x
Schlüsselspannung



Regeldetail M 1 10

einkleben Gewindestange ØM27



GEWINDESTANGE Ø M27 8.8: EINKLEBEN MIT HILTI HIT-RE 500 V4 bzw. GLEICHWERTIGES BOHRLOCH Ø27: mind. Ø32mm

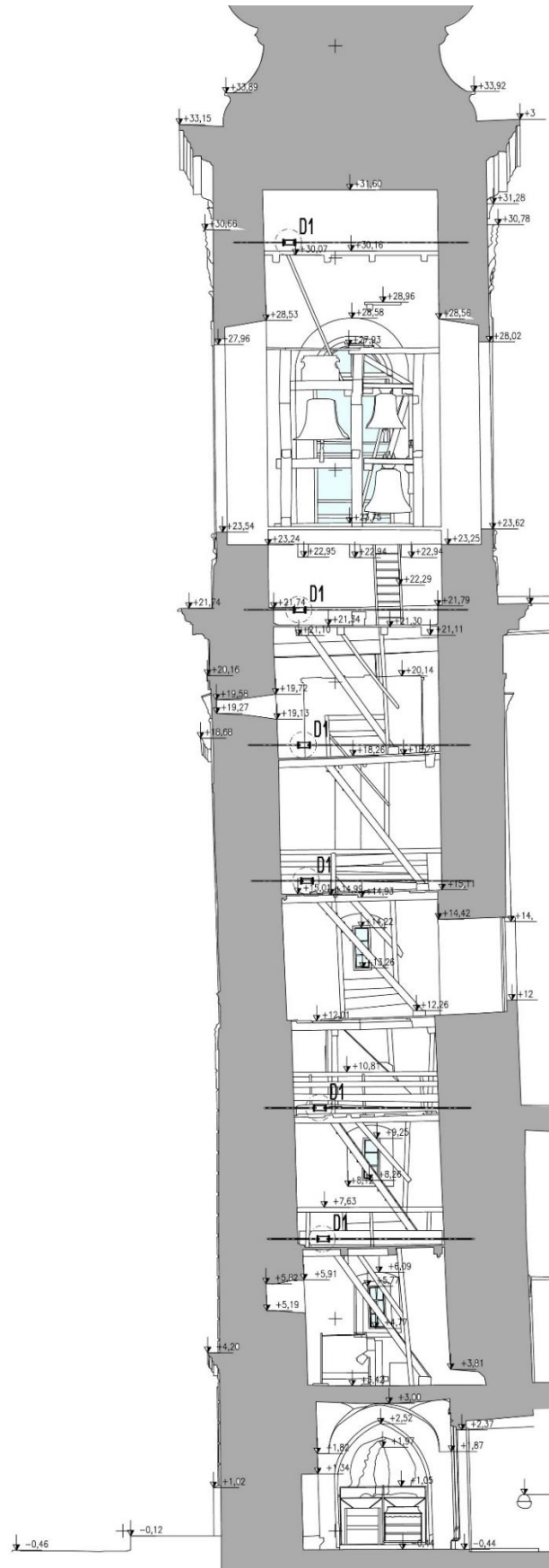


Abbildung 25: Verspannung des Turmmauerwerks vor den Unterfangungsarbeiten (Quelle: Sanierungskonzept DI Weihartner, Plan 2, 17.05.2023)

3.3 Möglichkeiten der Fundamentunterfangung

In der Nachstehenden Abbildung sind verschiedene Möglichkeiten der Unterfangung bzw. Verbreiterung der Fundamente skizziert.

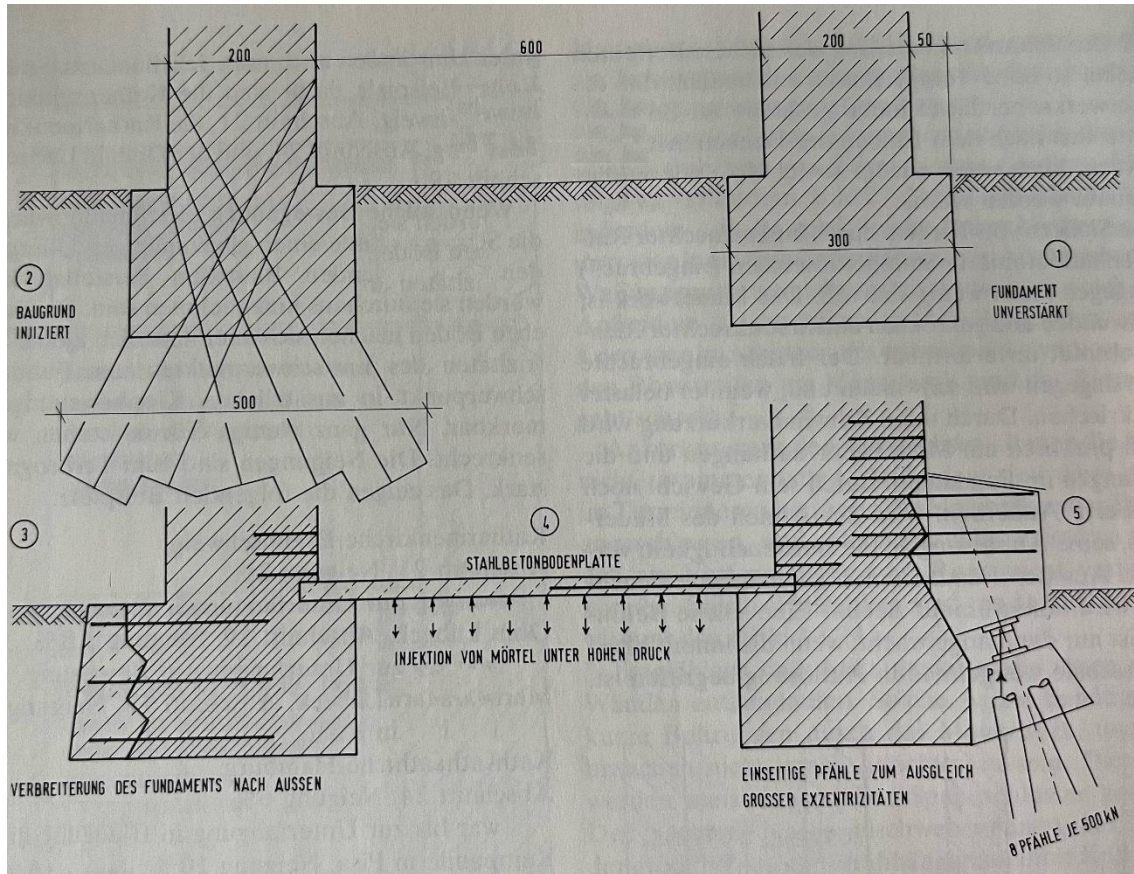


Abbildung 26: Möglichkeiten der Fundamentunterfangung

(Quelle: [2] Abb.13.26 auf Seite 156)

3.3.1 Verfestigung des Baugrunds durch Injektionen

Diese sind nicht ohne weiters auf Grund beengter Platzverhältnisse neben der Kirche bzw. vom Innenraum her umsetzbar sein. Auch aus Sicht des Denkmalschutzes ist mit erheblichem Verlust historischer Substanz im Sockelbereich zu rechnen. Dies wäre aber in Abwägung zum Erhalt des ganzen Turmbaukörpers aber relativ zu betrachten. Weiters wird sich der Bodenkörper in seinen physikalischen Eigenschaften verändern und es wäre zu Prüfen, wie dies Auswirkungen auf die Nachbarbebauung haben wird. Ebenso sind die Kosten einer derartigen Maßnahme durch die Ausführung von speziellen Tiefbauunternehmen sehr hoch.

3.3.2 Verbreiterung der Fundamente außen

Schwierigkeit bei dieser Maßnahme wird es sein die neuen Fundamentteile mit den bestehenden Kraftschlüssig zu verbinden damit eine Überleitung der Kräfte überhaupt erfolgen kann. Weiters problematisch ist die Tatsache, dass weiterhin Setzungen auftreten können. Die einfache Ausführung ist nicht auf spezielle Baustelleinrichtungen und Wissen angewiesen. Bei Ausschachtung in einzelnen Abschnitten ist aber dennoch auf die Verminderung der Grundbruchsicherheit während der Bauphase Rücksicht zu nehmen z.B. durch das Pilgerschrittverfahren. Weiters ist auf eine ausreichende Verzahnung und Verankerung des neuen Fundamentkörpers zu achten, damit dieser sich unter Last nicht vom alten Fundament wegdreht. Ansonsten wird der Bodenkörper in seiner Beschaffenheit, insbesondere seiner physikalischen Eigenschaften nicht wesentlich verändert.

3.3.3 Einbau einer schweren Bodenplatte im Turminnenen

Durch Einbau einer schweren Bodenplatte im inneren des Turms kann diese Fläche zum Mittragen herangezogen werden. Durch Injektion unterhalb der Bodenplatte kann diese Fläche sogar vorgespannt werden. Problematisch wird ebenso die Verbindung mit Mauerwerk und daraufhin die Krafteinleitung von Mauerwerk in den Bodenkörper sein. Der Aufwand und Eingriff in die Substanz ist bei dieser Maßnahme aber am geringsten.

3.3.4 Eiseitige Pfähle zum Ausgleich der Exzentrizität

Kippbewegungen des Turms kann ebenfalls durch einseitiges Ansetzen einer Aktiven, auf Pfählen gegründeten Gegenkraft die Außerhalb der Fundamente liegt. Problematisch ist hier ebenso die Einleitung der entstehenden Lasten zwischen Mauerwerk und Pfählen auf den entstehenden Schnäbeln. Einer Verdrehung dieses Schnabels könnte durch Verankerung in eine innenliegende Bodenplatte begegnet werden. Wenn die Fundamente groß genug sind, kann eventuell dieser unter dem Bestehenden Bodenniveau zu liegen kommen. Daher ist diese Lösung nicht immer praktikabel, zumal sie das Erscheinungsbild des Turms im Sockelbereich stark vereinnahmt. Größter Vorteil dieser Maßnahme ist die Tatsache dass durch Vorspannung der Pfähle die Setzungen künftig sehr gering gehalten werden können.

4 Bauteile und Lasten

4.1 Turmhelm

Der heutige Barocke Turmhelm der Pfarrkirche wurde im Zuge der Barockisierung um 1770 auf die damit einhergehende Turmerhöhung als Abschluss auf den Turmschaft gesetzt. Die Dacheindeckung besteht aus Kupferblech auf einer 3cm Dicken Vollschalung. Die Rundungen sind mittels Romenadenbretter hergestellt. Das Dachtragwerk des Turmhelms besteht aus Vollhölzern in klassischer zimmermannsmäßiger Ausführung. Insgesamt ist der Turmhelm in Bezug auf das Gesamtgewicht von geringerer Bedeutung. Die Windsicherung des Helms erfolgt mittels geschmiedeter Eisenbänder an den Aussennecken im Turmschaft liegend. Diese reichen bis unter die Glockenstube und dienen der Windsicherung des Turmhelms in das darunter liegende Mauerwerk. Inwiefern die doch recht Redundante Konstruktion des Turmhelms und die historischen Schmiedeeisernen Windsicherungen die Windlasten in den Turm einleiten können ist nicht Gegenstand näherer Betrachtung. Es wird daher im Folgenden unterstellt, dass alle bisher angefallenen Lasten für den Turmhelm selbst Problemlos eingeleitet/Abgetragen werden konnten Anzeichen schädlicher Einflüsse aus Windbelastungen sind nicht bekannt.

4.2 Turmschaft

Der Turmschaft besteht in den unteren 2 Dritteln aus Bruchsteinmauerwerk (Gotische Phase) und wurde mittels Ziegelmauerwerk im oberen Drittel zwecks Erhöhung des Turms hergestellt. Die Massiven Bruchsteinmauern sind als Schalenmauerwerk zu betrachten. Hinweise dafür liefern die nachträglich eingearbeiteten Fenster im Turmschaft im Zuge der Aufstockung. Der Grundriss des Turmschafts ist an der Basis Rechteckig und wird im Bereich der Turmhelmtraufe annähernd quadratisch. Insbesondere die zum Langhaus hin gerichtete Ostwand weist einen Anzug und Schiefstellung über die Höhe des Gotischen Vorgängermauerwerks auf. Damit einhergehend liegt die Vermutung nahe. Dass auch bereits in der Vergangenheit Probleme mit der Neigung des Turms vorhanden waren. Die in Ziegel ausgeführte Aufstockung hingegen wurde annähernd lotrecht auf den Unterbau aufgesetzt. Daher erscheint der Überhang von 18cm westseitig auch nicht sonderlich beeindruckend. Westseitig ist im Bereich der gotischen

unteren Phase außenseitig eine Ziegelverblendung erkennbar, sodass angenommen wird, dass in einer letzten Sanierungsphase dem Umstand der Schiefstellung bereits Rechnung getragen wurde und der Fehlstellung optisch begegnet wurde. Erst im Schnitt wird die Ostseitige Schiefstellung von 120cm von der Traufe des Helms bis zum Ostseitigen Fußpunkt auf Erdniveau ersichtlich. Auch wenn die Vorstellung etwas schwerfällt, so ist dennoch davon auszugehen, dass die Fundamente und Wände der gotischen Erstphase bei ihrer Errichtung Lotrecht errichtet wurden. Die heutige vorgefundene Verformung muss daher andere Ursache haben als Bauungenauigkeit. In Nord-Süd Richtung sind keinerlei Anzeichen einer Neigung des Turmschafts vorhanden. Der Turmschaft ist ostseitig mit dem Langhaus verbunden und bildet somit die westseitige Außenwand des Kirchenraums. Die Giebelmauer der westlichen Langhauswand geht ohne erkennbaren Abriss oder Ähnlichem nahtlos ins Turmmauerwerk über. Es wird hier ein funktionierender Verbund angenommen. Dennoch kann dies nicht vollkommend zutreffend sein, da die Giebelmauer stabilisierend auf die Neigung Richtung Westen wirken müsste. Lediglich das Gewölbe des Kirchenraums ist vom Turmmauerwerk abgerissen und gibt ganz gut die vorherrschende Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit wieder.

4.3 Fundamente

Die Fundamente bestehen aus Bruchsteinmauerwerk, welches mit Kalkmörtel gemauert wurde. Der Aufbau ist als Mehrschaliges Mauerwerk zu betrachten, welcher im Kern mittels Auffüllung besteht. Dabei ist im Kern der Mörtelanteil größer und es ist anzunehmen, dass insbesondere mit wachsender Höhe hier Restmaterialien (Bruch) zur Auffüllung verwendet wurden. Daher wird die Wichte des Mauerwerks mit zunehmender Höhe auch abnehmen. Dieser Umstand sollte aber in statischen Berechnungen nicht, da damit auf der sicheren Seite liegend, berücksichtigt werden, da die Übereinstimmung mit der Natur schwer in Abgleich gebracht werden kann. Die Anwendung schwereren Steins bei den Fundamenten, aufgehenden Mauerteilen und Außenschalen bei Mehrschaligem Mauerwerk war aber bei den Handwerkern und Meistern der Zeit bekannt und auch gebräuchlich.

Ebenso unbekannt ist die definitive Gründung des Mauerwerks im Boden. Kurze bis zu 2m lange Spickpfähle zur Verbesserung der Gründung sind bei anderen Kirchen

aus dieser Epoche in der Nähe belegt (Eferding), jedoch liegen keine Hinweise bei der Pfarrkirche Maria Scharfen vor. Es ist aber ein Wissenstransfer von dieser nahen gelegenen Baustelle anzunehmen. Ein Zusammenhang mit, der bereits in der Gotik stattgefundenen Setzung Richtung Westen könnte, damit aber in Zusammenhang stehen. Ein Umstand zur Beschaffenheit ist der Baustopp in der Zeit von 1532-1600. Es ist unbekannt, wie sich dieser auf das damals bereits vorhandene Bauwerk in dieser Zeitspanne auswirkte. (Raubbau/Rückbau, Absicherung gegen Witterung, Ausspülung von Mörtelmatrix, ...)

Die Fundamente des Turms sind nach dem Probeschurf außen ohne Verbreiterung ins Erdreich geführt. Ob die Fundamente im inneren erdgeschossig als Streifenfundamente oder als massives Einzelfundament ausgeführt sind wurde nicht befundet. Es wird daher der realistische und ungünstigere Fall eines umlaufenden Streifenfundaments gleicher Mauerstärke wie die des Aufgehenden Mauerwerk unterstellt.

Die Fundamente sind aber asymmetrisch und durch den Verbund mit der Giebelmauer des Langhauses muss sich eine Verdrehung der Fundamente zwangsläufig ergeben.

Setzungen an direkten Nachbargebäuden in derart wie beim Turm sind nicht bekannt, jedoch liegen Berichte über Schwierige Fundamentierungsarbeiten in der näheren Umgebung auf. Die örtlichen Bauvorschriften verlangen bei Neuerrichtungen eine detaillierte Planung der Fundamente. (Bodenstatik)

4.4 Glocken

Die vier Glocken, aufgehängt auf geraden Jochen, der Pfarrkirche haben für die Ermittlung der vorhandenen Bodenspannungen eine untergeordnete Bedeutung. Die Glockenlasten sind kleiner als die Windlasten. Ihr Gesamtgewicht im Ruhezustand samt Glockenstuhl beträgt lediglich 38kN. Die maximal entstehende Vertikalkraft beim Läuten entsteht beim Durchgang der Glocken im Tiefpunkt und kann bis zum dreifachen Wert des Glockengewichts erreichen. Die Maximale Horizontalkraft, die etwa beim halben Anschlag entsteht, erreicht ungefähr das Gewicht der Glocken. Die Läterrichtung ist mit 90° entgegengesetzte der Vorhandenen Neigungsrichtung in Nord-Süd Richtung. Zum Teil heben sich die

Horizontal Kräfte bei Vollgeläute auf Grund der verschiedenen Glocken Geometrien (Pendelwege) auch wieder auf.

Der Stundenschlag erfolgt mittels einfachen Hammerwerks. Das Läuten erfolgt hauptsächlich zum Messbetrieb, wobei die Anzahl des Läutens über die Zeit hinweg als konstant angenommen werden kann.

Es wird im Weiteren unterstellt, dass ein Läuten der Glocken niemals bei einem starken Sturm erfolgt, daher wird eine Prüfung des Lastfalls Eigengewicht + Glocken läuten bzw. Überlagerung des Lastfalls Wind + Glockenlast unterlassen.

Glockenlasten stellen aber Wechsellasten mit gewisser Häufigkeit dar, unter denen die Scherfestigkeit wesentlich niedriger anzusetzen ist. Es kann unter Umständen die Scherbewegung im Mauerwerk, infolge Glockenläuten mit der Hand erfüllt werden. Gefährlich wären diese, wenn diese im Resonanzbereich liegen. Der Glockenstuhl weist zum umliegenden Mauerwerk genügen Abstand auf, sodass die Bewegungen des Glockenstuhls auch planmäßig auf die dafür vorgesehenen Auflager eingeleitet werden. Unplanmäßige Bewegungen des Glockenstuhls, welche wie Rammböcke die Mauern langsam zermürben würden, sind nicht vorhanden.

4.5 Schneelasten

Auf Grund der Oberflächenbeschaffenheit (Kupfereindeckung + Wölbung der Oberfläche) lasten kaum bis keine Schneelasten auf dem Dachstuhl. Ebenso ist der Anteil einer Schneelast auf einer Grundrissfläche von 7,5x7,5m bezogen auf die schiere Masse aus Eigengewicht, bei Betrachtung der Bodenspannungen im Fundamentbereich vernachlässigbar. In weiterer Folge wird daher unterstellt, dass der Lastfall aus Schnee nicht vorkommt.

4.6 Windlasten

Da der Turm in Nord-Süd Richtung (entspricht der Läute Richtung) keinerlei Neigung besitzt, wird der Lastfall Wind aus diesen Richtungen nicht als maßgebend angesehen. Wind aus der Hauptwindrichtung westseitig wirkt entlastend gegen die Vorhandene Neigung des Turms und ist daher ebenfalls vernachlässigbar. Maßgebender Fall ist der Wind aus Osten, welcher aber in der unteren Hälfte des Turms durch den vorhandenen Kirchenbaukörper abgefangene werden. Die

Gewölbeschale des Langhauses hat einen mehrere Zentimeter breiten Riss zum anschließenden Turmmauerwerk, wonach angenommen wird, dass in diesem Bereich keinerlei Windkräfte angreifen. Durch die umliegende Bebauung ist durch Verwirbelung eine Druck- bzw. Sogwirkung, insbesondere in der Bodennahen Zone, in Verbindung mit dem damit verbunden Hebelarmes nebensächlich zu betrachten.

Die großen vierseitig angeordneten Schallfenster in der Ebene des Glockenstuhls lassen den Wind zum Teil durch den Turmschaft strömen, sodass die Annahme der Wind greift auf die gesamte Ostseite an wohl auf der sicheren Seite liegen muss. Ebenso wird ostseitig im Anschluss Bereich des Kirchenschiffdachs eine Verwirbelung einsetzen, sodass bei Ostwind der Ansatz der Vollen Windlast es hier zu einer Überschätzung kommen muss.

Die Windlasten aus Osten bei Anwendung des derzeit geltenden normativen Winddrucks kann ohne jegliche Sicherheitsbeiwerte erfolgen. Es wäre generell zu hinterfragen, ob die statistische Lastannahme für die Ostrichtung auf Grund der statistischen Häufung ebenso zutreffend, wie für die Westrichtung ist. Die Werte der Norm beziehen sich auf ein 50-jähriges Windereignis und sind mit Blick auf den Bestand des Gebäudes ebenfalls kritisch zu hinterfragen. Vielmehr wäre hier ein Wert für ein 100-Jähriges oder Besser 500-Jähriges anzuwenden, welcher aber normativ nicht gegeben ist. Dennoch hat das Bauwerk bewiesen, dass es die Zeit überdauern kann. Ob der Wind allein ausschlaggebend für eine Bewegung Richtung Westen ist, gilt es zu klären.

4.7 Dynamische Lasten, Erschütterungen

Es wird unterstellt, dass der Lastfall Wind + Glockenläuten selten auftritt. Beide Kräfte treten, wenn dann immer nur sehr kurz auf und können sich bei Überlagerung verstärken oder sogar aufheben. Auf Grund des langen Bestands und der Wahrscheinlichkeit, dass dieser Lastfall bereits aufgetreten sein wird, kann angenommen werden, dass dieser keinen Maßgebenden Einfluss hat. Inwiefern Lasten und Erschütterungen aus dem neben der Kirche Rollenden Verkehr der Bundesstraße eine Rolle spielen, wurde nicht näher untersucht. Der Einfluss dürfte durch die seit ca. 2 Jahren bestehende Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h zulässige Höchstgeschwindigkeit, jedoch abgenommen haben.

4.8 Thermische Lasten

Durch einseitige Erwärmung infolge der Sonneneinstrahlung können feststellbare kreisende Bewegungen des Turmes hervorgerufen werden. Dabei beugt sich der Turm von der Sonne weg. Daher wäre eine exakte Vermessung des Turms bei Nacht zweckmäßiger. Es sei hier darauf hingewiesen, dass auch Fehler in den Aufmaß Plänen vorhanden sein können. Einfluss auf die vorhandene Neigung sind aber vernachlässigbar. Um grob eine Vorstellung der Verschiebung des Gesimses in ca.32m Höhe zu erhalten, wurde beispielhaft in guter Näherung für den Turm der Pfarrkirche 2-3mm errechnet. Der Temperaturunterschied an der Oberfläche kann wesentlich größer sein als 10°C. Es sei hingewiesen, dass der Temperaturverlauf in dem dicken Mauerwerk aber nicht linear verläuft wie in der Rechnung vorausgesetzt.

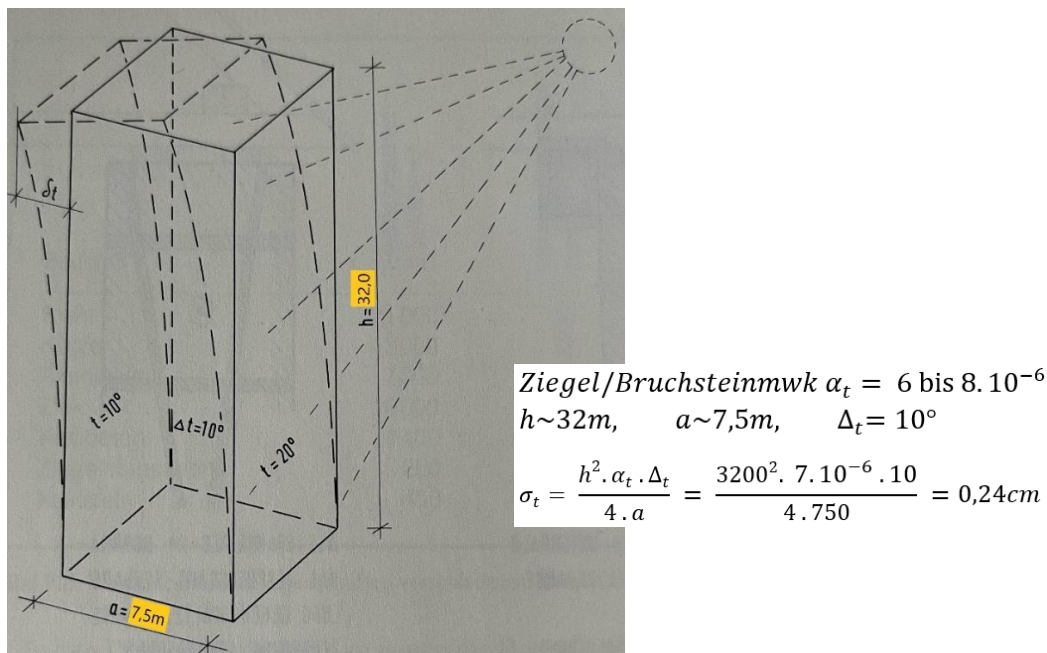


Abbildung 27: Verformung eines Turmschafts infolge Sonneneinstrahlung
(Quelle:[2] Abb.9.11, Seite 82)

4.9 Überschallknall

Die Pfarrkirche liegt in Nähe einer Einflugschneise des Flughafens Hörsching. Gleichsam beherbergt dieser neben der zivilen Luftfahrt auch einen Militärflughafen von welchem auch gelegentlich Überschalljets ausstarten. Der Einfluss aus derartigen Belastungen wird aber beim Gegenständlichen Schadensbild als nicht relevant angesehen und daher nicht weiter betrachtet.

5.2 Baugrund / Boden

Der vorhandene Bodenkörper kann nach Einschätzung durch den Probeschurf so wie der zur Verfügung stehenden Unterlagen einer nahe gelegener Bodenbohrungen folgend nach Tab.6.27 aus [3] klassifiziert werden:

Tiefe ab GOK [m]	Kurzzeichen	Bezeichnung	Wichte [kN/m³]	Wassergehalt [%]	Durchlässigkeit [m/s]	Scherparameter	
						ϕ' in °	c' [kN/m²]
0 – 0,15	-	Oberboden	-	-	-	-	-
0,15-0,50	GE	Kies	-	-	-	-	-
0,50-1,90	SU	Sand Schluff-Gemisch	19-22,5	4-15	2.10 ⁻⁵ bis 5.10 ⁻⁷	32-40	0-7
1,90-∞	SU*	Sand Schluff-Gemisch	18-21,5	8-20	2.10 ⁻⁶ bis 1.10 ⁻⁹	25-32	7-25

Abbildung 29: Tabelle auszugsweise aus [3] gem. Tafel 6.27

Es gelten folgende Bedingungen:

- Die Geländeoberfläche und die Schichtgrenzen verlaufen annähernd horizontal
- Das Fundament wird nicht überwiegend bzw. regelmäßig durch dynamische Belastungen beansprucht
- Es liegt kein Grundwasser an
- Neigung der charakteristischen Neigung der Sohlfläche

$$\tan\delta = \frac{Hk}{VK} \leq 0,2 \quad \rightarrow \quad \frac{340kN}{24000kN} = 0,014 \leq 0,2$$

- Außermittigkeit bezogen auf den Schwerpunkt des Turms liegt nur in Westrichtung mit ca. 0,69m vor. $\left(\frac{1,20m \text{ Ostseite} + 0,18m \text{ Westseite}}{2} \right)$

Damit ergibt sich nach EC7 in [3] Tafel 31.b eine Bemessungswert des Sollwiederstand $\sigma_{R,d} = 0,52MN/m^2$. Anmerkend dazu sei hingewiesen, dass lt. Norm hier eine Setzung in der Größenordnung von 2-4 cm berücksichtigt wurde.

Die tatsächlich Vorhandene Setzung, unter der Annahme das Fundament war bei der Herstellung annähernd Horizontal beträgt für den geneigten gotischen Unterbau grob bereits:

Grob hergeleitet durch:

$$\frac{\text{Turmhöhe } (h)}{\text{Außermittigkeit in Westrichtung } (A_w)} = \frac{\text{Turmbreite } (b)}{\text{Setzung Westseite } (x)}$$

$$\frac{A_w \cdot b}{h} = x \Rightarrow \frac{0,69 \cdot 7,45}{32,00} = 0,16m$$

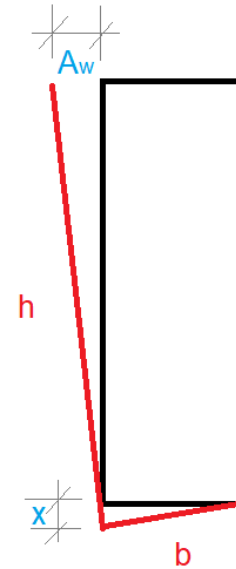


Abbildung 30: Skizze und Abschätzung zur vorhandenen Setzung
(Quelle: Andreas Reif)

Die sich daraus ergebenden Werte verdeutlichen, dass selbst kleinste Veränderungen in den Setzungen auf einer Seite des Turms durch den Zeigereffekt große Auswirkungen auf die Schiefstellung haben. Dies gilt es bei der Wahl der beabsichtigten Unterfangungsmethode zu berücksichtigen und unterstreicht die Gegebenheit, dass selbst bei kleinsten Senkungen, welche zweifelsohne bei den Unterfangungsarbeiten entstehen können, der Turm weitere Schiefelage erfahren wird.

Verglichen mit der Spannung von 0,53 MN/m² in der Fundamentfläche rein aus Gewicht ohne Berücksichtigung von Wind und Exzentrizität ist der Boden bereits nach Norm nicht mehr tragfähig. Es muss daher Redundanzen, andere Wege der Lastableitung oder eine höhere aufnehmbare Sohlspannung Grund dafür sein, dass der Turm sich neigte, aber schließlich immer noch steht.

5.3 Lastaufstellung und Spannungen in der Fundamentfläche

Um den Rahmen der Rahmen dieser Projektarbeit nicht zu sprengen, werden im Folgenden nur die Ergebnisse verkürzt und übersichtsmäßig angeführt. Um dennoch Transparenz und Nachvollziehbarkeit wird darauf hingewiesen, dass die Abmessungen; Hebelarme, etc. dem Abschnitt 5.1 entnommen werden können.

5.3.1 Ständige Lasten

Abmessungen gem. Abschnitt 5.1

Turmeniebel

Ersatzspannenlänge: $16,10 \times 1,40 = 22,54 \text{ m}$ (für Vauhung)

Dachschalung + Kupfererindeckung: $0,04 \times 5,0 + 0,006 \times 89 = 0,73 \text{ kN/m}^2$

Ersatzkegel: $22,54 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \times 1,40 \text{ (Wölbung)} \times 0,73 \text{ kN/m}^2 \approx 92 \text{ kN}$

Kaiserstiel + Dachstuhl: $0,57 \times 0,5 \times 15,10 \times 5,0 \approx 17 \text{ kN}$

Glockenstube ($\rho = 17 \text{ kN/m}^3$)

MWK: $4 \times (6,65 - 1,30) \times 1,30 \times 10,30 \times 17,0 \approx 4870 \text{ kN}$

- Schallfenster: $4 \times (2,65 \times 5,15) \times 1,30 \times 17,0 = -1206 \text{ kN}$

Glocken: $= 12 + 10 + 7 + 5 \approx 33 \text{ kN}$

Glockenstuhl: $= 5 \text{ kN}$

Mittelstock: ($\rho = 22 \text{ kN/m}^3$)

MWK: $4 \times (6,70 - 1,55) \times 9,80 \times 22,0 \approx 4440 \text{ kN}$

Holzprodukte: $5 \times (6,75 - 2 \times 1,55)^2 \times 0,04 \times 5,0 \approx 13 \text{ kN}$

Sockel: ($\rho = 22 \text{ kN/m}^3$)

mittlere Außenabmessung: $\frac{6,75 + 7,45}{2} = 7,1 \text{ m}$

mittlere Mauerstärke West: $\frac{1,75 + 2,30}{2} = 2,03 \text{ m}$

MWK: Nord + Ost + Süd

$[(7,10 \times 3) - (2,03 \times 2)] \times 1,95 \times 12,1 \times 22,0 \approx 8950 \text{ kN}$

MWK: West

$7,45 \times 2,03 \times 12,1 \times 22,0 \approx 4025 \text{ kN}$

- Tore ins Langhaus: $2,10 \times 2,30 \times 1,95 \times 22,0 \approx -207 \text{ kN}$

Gewölbe BG: $3,40^2 \times 0,40 \times 22,0 \approx 102 \text{ kN}$

Fundamente: ($\rho = 22,0 \text{ kN/m}^2$)

MWK: $7,45^2 \times 22,0 \times 22,0 \approx 2690 \text{ kN}$

Abbildung 31: Ständige Lasten

(Quelle: Andreas Reif)

Lastaufstellung (Abmessungen, Gewichte, Hebelsarme, etc. gem. Pkt. 5.1)

<u>1.0 Wichte des Bruchsteinmauerwerks</u>		$\gamma = 22,0 \text{ kN/m}^3$ (aus Granit Gestein mit 40% Mörtel und 5 % Hohlraum)
Wichte des Ziegelmauerwerks		$\gamma = 17,0 \text{ kN/m}^3$ (aus Ziegelsteinen mit 28% Mörtel und 3% Hohlraum)
Überhang des Turms im Mittel		$x = 0,69 \text{ m}$ (gemittelt Bezogen auf eine Höhe von 31,65m)
<u>2.0 Ständige Lasten</u>		Momente in der Bodenfuge aus dem Überhang = gem. Überhang * Hebelsarm/Turmhöhe
2.1 Turmzwiebel	Gewicht	
geschätzt	111 kN	*[(0,69*39,43)/31,65]= 9542 kNm
2.2 Glockenstube		
MWK aus Ziegel abzgl. Schallfenster	3664 kN	*[(0,69*29,23)/31,65]= 2335 kNm
Glocken inkl. Glockenstuhl	38 kN	*[(0,69*29,23)/31,65]= 24 kNm
2.3 Mittelstück		
MWK aus Bruchsteinen (o. Abzüge)	4440 kN	*[(0,69*19,2)/31,65]= 1858 kNm
Holzpodeste (5 Stk)	13 kN	*[(0,69*19,2)/31,65]= 5 kNm
2.4 Sockel		
MWK aus Bruchsteinen (o. Abzüge)	12975 kN	*[(0,69*7,15)/31,65]= 2023 kNm
Gewölbe EG	102 kN	*[(0,69*7,15)/31,65]= 16 kNm
2.5 Fundamente		
MWK aus Bruchsteinen	2690 kN	*[(0,69*1,1)/31,65] 65 kNm
	G= 24033 kN	M_c= 15868 kNm
<u>3.0 Nutzlasten</u>		sind praktisch nicht vorhanden!
<u>4.0 Schneelasten</u>		sind praktisch nicht relevant da kaum Schnee liegen bleibt!
<u>5.0 Windlasten</u>		
Allgemein gilt:		
* die Massgebende Windrichtung ist bei Ostwind (in Richtung des Überhangs) da ansonsten entlastend!		
* in Nord-Süd Richtung keine Schiefstellung vorhanden, daher Wind hier nicht massgebend!		
* Die Überlagerung mit Glockenlasten ist unwahrscheinlich da bei Sturm keine Glocken Läuten!		
5.1 Basiswindgeschwindigkeit v_b	22,5 m/s	Windgeschwindigkeitsdruck q_b 0,42 kN/m ²
Mittlere Höhe über Adria	420 m.ü.A.	höhenabh.e Böengeschwindigkeit $q_p(z)$ 2,85 kN/m ²
	Kraft	Momente in der Bodenfuge
5.2 Fläche II (Turmschaft): $2,85 * 6,65 * 10,30 =$	195 kN	*39,65= 7740 kNm
5.3 Fläche III (Turmzwiebel): $2,85 * 6,65 * 15,30 / 2 =$	145 kN	*29,23= 4238 kNm
	Q_w= 340 kN	M_w= 11978 kNm

Geometrische Werte der Fundamentflächen

		Bestand
Fundamentfläche A:	$7,45^2 - 3,20^2 =$	<u>45 m²</u>
Wiederstandsmoment W:	$(7,45^4 - 3,20^4) / (6 * 7,45) =$	<u>67 m³</u>

Spannungen in der Fundamentfläche

aus G: $\sigma = \sim 24 \text{ MN} / 45 \text{ m}^2 =$	<u>0,53 MN/m²</u>
aus M _{w,k} : $\sigma = \sim +12 \text{ MNm} / 67 \text{ m}^3 =$	<u>-0,18 MN/m²</u>
aus M _{E,k} : $\sigma = \sim +16 \text{ MNm} / 67 \text{ m}^3 =$	<u>-0,24 MN/m²</u>

Abbildung 32: Berechnungsergebnisse

(Quelle: Andreas Reif)

6 Mögliche Lösungsansätze

Im Folgenden Kapitel sollen Drei Mögliche Lösungsansätze durchgedacht werden. Der Anspruch auf Darstellung aller erdenklichen Varianten nach den momentan zur Verfügung stehenden Methoden der Tiefbaukunst ist nicht gegeben. Es soll lediglich grob eine Gegenüberstellung erfolgen.

6.1 Abschnittsweise Unterfangung

Das Bestehende Turmfundament kann abschnittsweise mit Beton unterfangen werden. Dadurch wird die Fundamentsohle etwas tiefer gelegt und die Fundamentbreite vergrößert. Die Boden Pressung und einhergehend die Setzung werden somit stark reduziert. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass diese ohne spezielle Tiefbaumaschinen von „klassischen“ Baufirmen durchgeführt werden kann. Sorgfältige Planung und Überwachung der Baustelle samt gesondertem Briefing der Ausführenden Personen vorausgesetzt. Besonders wichtig ist es den Verbund zwischen neuem und altem Fundament Körper sicherzustellen, da die neuen Fundamente sich nur bei gutem Verbund auch an der Lastabtragung beteiligen werden. Es ist achtzugeben, dass bei abschnittsweiser Unterfangung hohe Scherspannungen innerhalb des alten Fundaments auftreten. Dies gilt es gesondert bei der Ausführung zu berücksichtigen. Es sind daher begleitend Vernadelungen u.dgl. erforderlich.

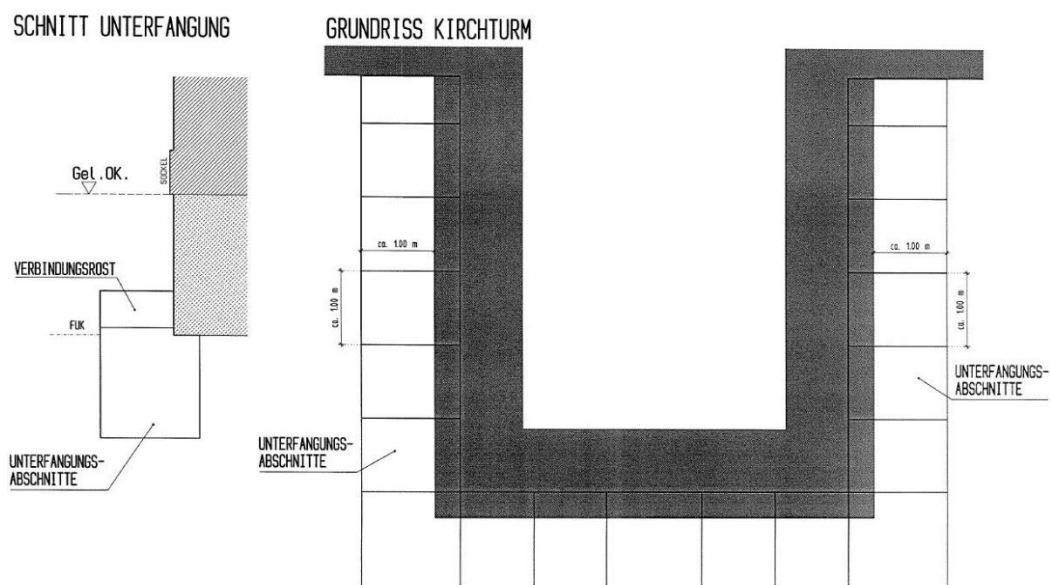


Abbildung 33: Schematischer abschnittsweise Unterfangung
(Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v.2018)

6.2 Düsenstrahlverfahren

Das Bestehende KirCHFundament kann an den Außenseiten mittels Düsenstrahlverfahren (DSV) tiefgesündet werden. Bei dieser Methode werden Zementsäulen nacheinander unter dem bestehenden Turmfundament hergestellt. Dadurch wird die Fundierungssohle tiefer gesetzt und die Setzungsempfindlichkeit stark reduziert. Diese Methode ist aber hinsichtlich der Kosten vermutlich intensiver als eine Konventionelle Unterfangung. Diese Methode erfordert einen hohen Maschinellen Einsatz, der auf Grund der beengten örtlichen Gegebenheiten nochmals besondere Anforderungen mit sich bringt. Weiters sind derartige Arbeiten nur von speziell ausgerüsteten Tiefbauunternehmen mit entsprechendem Maschinepark bewältigbar. Es gilt zu bedenken das keine Spaltwirkung der Außenschale in der Randzone entsteht.

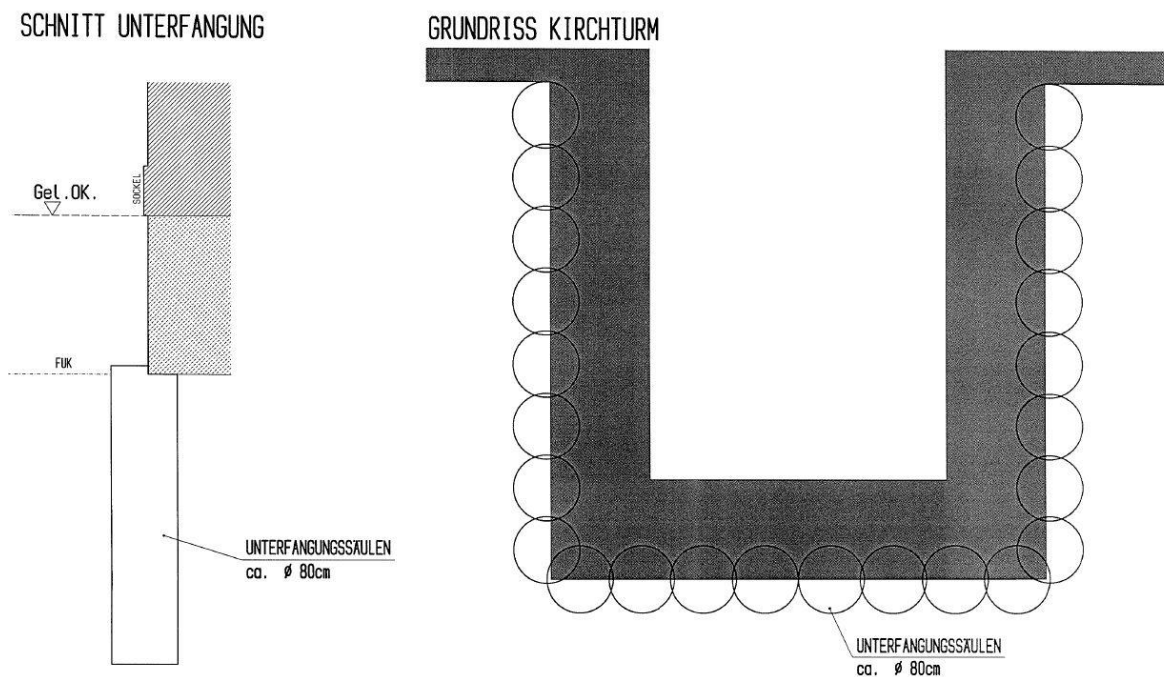


Abbildung 34: Schematischer Aufbau bei Anwendung des DSV
(Quelle: Statische Stellungnahme DI Weilhartner v.2018)

6.3 Einbau einer schweren Bodenplatte im Turminneren

Das einfachste Mittel mit dem Geringsten finanziellen Einsatz wäre es, zur Erhöhung der Fundamenttragfähigkeit, Turminneren erdgeschossig eine Schwere Fundamentplatte einzuziehen, welche sich am Lastabtrag beteiligt. Jedoch ist auch deren Wirkung am grinsten. Das Sicherheitsniveau kann dadurch zwar geringfügig angehoben werden, jedoch wird dies auf die Setzungen kaum einen Einfluss haben.

6.4 Zusammenfassung der 3 Varianten

Nunmehr steht die Gegenüberstellung eines einfachen Variantenvergleich an. Dabei dienen die überschlägig Ermittelten Querschnittswerte und Sohlspannungen als Vergleichskriterium.

Geometrische Werte der Fundamentflächen

	Bestand	Bei 1m Fundament- verbreiterung	Bei schwerer Bodenplatte	Boden- verbesserung
Fundamentfläche A:	<u>45 m²</u>	<u>79 m²</u>	<u>56 m²</u>	<u>45 m²</u>
Widerstansmoment W:	<u>67 m³</u>	<u>139 m³</u>	<u>69 m³</u>	<u>67 m³</u>

Spannungem in der Fundamentfläche

aus G: $\sigma =$	<u>0,53 MN/m²</u>	<u>0,30 MN/m²</u>	<u>0,43 MN/m²</u>	<u>0,53 MN/m²</u>
aus $M_{W,K}$: $\sigma =$	<u>-0,18 MN/m²</u>	<u>-0,09 MN/m²</u>	<u>-0,17 MN/m²</u>	<u>-0,18 MN/m²</u>
aus $M_{E,K}$: $\sigma =$	<u>-0,24 MN/m²</u>	<u>-0,12 MN/m²</u>	<u>-0,23 MN/m²</u>	<u>-0,24 MN/m²</u>

Bei Anwendung einer Bodenverbesserungsmaßnahme wie beispielsweise dem Düsenstrahlverfahren ändert sich zwar nicht die Fundamentfläche jedoch wird die Sohlfuge des Fundaments in ein tiefes liegendes Niveau verlagert. Dadurch wird der aufnehmbare Sohlwiderstand erhöht aber auch die Bodenmechanischen Eigenschaften verändert, was folglich zu geringeren Setzungen führt.

Der Einbau einer schweren Bodenplatte führt zwar zu einer deutlich Größeren Fundamentfläche und folglich dadurch um eine ca. 19% reduzierte Sohlpressung im Lastfall Eigengewicht. Dabei ist das damit einhergehenden Widerstandmoment sehr gering, wonach sich bei den ergebenden Spannungen aus Exzentrizität und Wind nur marginale Änderungen ergeben. Es ist daher anzunehmen, dass diese Maßnahme auch die ineffizienteste zur Verhinderung weiterer Setzungen ist.

Nach reiner Betrachtung der zuvor dargestellten Werte, stellt die Fundamentverbreiterung das einfachste Mittel dar die Spannungen zu Reduzieren. Bei einer angenommen 1m Breiten Fundamentverbreiterung reduziert sich alleine im Lastfall Eigengewicht die Sohlpressung um 45%. Wodurch die Entlastung Betragsmäßig die Spannungen aus Wind und Exzentrizität spielend aufgenommen werden können.

Eine genaue Berechnung der zu erwartenden Setzungen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und erfolgt daher an einer anderen Stelle.

7 Fazit/Schlussfolgerung

Der Aufwand für eine mögliche Ausführung soll bzw. muss auch hinsichtlich der Kosten auf einem Minimum basieren. Es gehört hier aber auch die Betrachtung der Wirksamkeit einer getätigten Maßnahme hinsichtlich Wartung und wieder zu erwartender Folgearbeiten hinzu. Auch spielt der Denkmalschutz eine wesentliche Rolle, da der Eingriff ebenfalls mit dem gelindesten Mittel durchgeführt einer Aufwändigen und stark in die Substanz eingreifenden Maßnahme vorzuziehen. Dabei sei angemerkt das damit der degenerative Verlauf eines Bauwerkes ebenfalls als ein besonderer Denkmalwert betrachtet werden kann, da mit ihm eine natürliche Alterung und in weiterer Folge auch die Authentizität und das Sein des Denkmals definiert werden kann.

Es gilt der Grundsatz, dass das Gebäude nicht nach momentan Gültigen Normativen Gesichtspunkten hergestellt werden muss, sondern die Vorhandene Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit so weit angehoben werden sollte, dass das Bauwerk zumindest für die nächste Generation gesichert ist. Das die Vorhandene Substanz entgegen fehlender Statischer Berechnung und normativer Auslegung existiert sollte in allen Überlegungen berücksichtigt werden.

Gleich auf welche Art der Unterfangung sich die Pfarre bzw. Entscheidenden Personen schließlich Einigen, sind Unterfangungsarbeiten bei Turmbauwerken immer eine schwierige, risikoreiche und anspruchsvolle Arbeit. Es soll daher jegliche Möglichkeit ausgiebig und erschöpfend in Betracht gezogen werden, diskutiert und überlegt sein, da eine pauschale Lösung nicht gegeben ist. Weder der Baugrund noch die Beschaffenheit des Turmmauerwerks können im Vorfeld so erschöpfend, ausreichend erkundet und untersucht werden. Ebenso sind die ausführenden Firmen, Bauleiter, Poliere und Arbeiter mit besonderer Sorgfalt auszuwählen, vielleicht mit noch größerer Sorgfalt als wie die eingesetzten Materialien und Techniken. Der Bauherr ist aber auch bei gewissenhaftester und bester Vorbereitung über verbleibende Risiken aufzuklären. Ein Bauwerk, welches derart Unterfangen werden muss, befindet sich ja schon in einem riskanten Zustand. Diese zu Überwinden und auf ein neues Sicherheitslevel anzuheben ist nicht ohne vorübergehende neue Risiken möglich.

Literaturverzeichnis

- [1] **Ingenieurgeologie**, Helmut Prinz und Roland Strauß
6. Auflage, 2018;
ISBN 978-3-662-54709-0

- [2] **Sicherung historischer Bauten**, Klaus Pieper
1. Auflage, 1983;
ISBN 3-433-00967-8

- [3] **Entwurfs- und Berechnungstabellen für Bauingenieure**, Holschemacher
7. Auflage, 2015
Beuth Verlag GmbH, Am DIN-Platz, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
(ISBN: 978-3-410-25044-9)

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift