



# Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## Raum-zeitliche Analyse der doppelten Innenentwicklung in Berlin 2001 bis 2016

vorgelegt von

**Valerie Häfele, M.A.**

104802, UNIGIS MSc Jahrgang 2018

Betreuer/in:

Dirk Tiede

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Nürnberg, 10.08.2019

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Danksagung.....	7
Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit.....	8
Zusammenfassung .....	9
Abstract.....	10
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>15</b>
2.1. Urbanisierung.....	15
2.2. Wärmeinseleffekt.....	16
2.3. Bodenversiegelung und Bodenmanagement.....	18
2.4. Nachhaltigkeitskonflikt.....	19
2.5. Doppelte Innenentwicklung .....	19
2.6. Berlin.....	22
2.6.1. Kürzliche Entwicklungen in Berlin .....	22
2.6.2. Strategiepläne zur doppelten Innenentwicklung in Berlin .....	24
2.6.3. Multifunktionalität .....	26
2.6.4. Berlin als Studiengebiet.....	28
<b>3. Methodik .....</b>	<b>30</b>
3.1. Basiskonzept: Urban Metrics .....	30
3.2. Hypothesen.....	31
3.3. Daten.....	32
3.4. Lösungsansatz.....	33

3.4.1. Kategorisierung und räumliche Einheiten .....	33
3.4.2. Methoden bzw. Urban Metrics.....	36
3.4.3. Tool-Einsatz.....	37
3.4.4. Limitationen.....	42
3.4.5. Validierung.....	47
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>48</b>
4.1. Ergebnisse: Largest-Patch-Index .....	48
4.2. Ergebnisse: Area Metrics .....	57
4.2.1. Versiegelungsgrad V1, 0–10 Prozent Versiegelung.....	57
4.2.2. Versiegelungsgrad V2, 11–30 Prozent Versiegelung .....	61
4.2.3. Versiegelungsgrad V3, 31–50 Prozent Versiegelung .....	65
4.2.4. Versiegelungsgrad V4, 51–80 Prozent Versiegelung .....	68
4.2.5. Versiegelungsgrad V5, 81–100 Prozent Versiegelung .....	72
4.2.6. Ergebnisse Area Metrics .....	78
4.3. Ergebnisse: Shannon-Diversity-Index.....	80
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>83</b>
<b>6. Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>90</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>92</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>I</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Quelle: eigene Darstellung).....	19
Abbildung 2: (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015).....	23
Abbildung 3: (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c).....	26
Abbildung 4: Verwaltungseinheiten mit Kennzeichnung der Berliner Innenstadt (Quelle: Umweltatlas Berlin, eigene Darstellung) .....	28
Abbildung 5: Einwohnerdichte Stadtgebiet vs. Innenstadt im Vergleich (Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016a) .....	29
Abbildung 6: Statistische Layer, Berlin.....	38
Abbildung 7: Versiegelungsdatensätze mit geschlossenen Lücken.....	39
Abbildung 8: Modell Datenaufbereitung (Quelle: eigene Darstellung).....	39
Abbildung 9: Modell zu den Berechnungen mit der ZonalMetrics-Toolbox (Quelle: eigene Darstellung).....	42
Abbildung 10: Validität der Hexagon-Zonen, Versiegelungsdatensatz 2001.....	43
Abbildung 11: Lokalisierung der Leerzonen mithilfe des Luftbildes, Versiegelungsdatensatz 2001	44
Abbildung 12: Versiegelungsdatensatz 2001 ohne Zonen $\geq 50\%$ Leerzonenanteil.....	44
Abbildung 13: Validität der Stadtteil-Zonen, Versiegelungsdatensatz 2001.....	45
Abbildung 14: Versiegelungsdatensatz 2005 ohne Zonen $\geq 50\%$ Leerzonenanteil.....	45
Abbildung 15: Validität der Vergleichszonen 2001-2005.....	46
Abbildung 16: Vergleichsdatensätze (Stadtteile) 2001 und 2005 ohne Zonen $\geq 20\%$ und $\leq -20\%$ Leerzonenanteildifferenz.....	46
Abbildung 17: Vergleichsdatensätze (Hexagone) 2001 und 2005 ohne Zonen $\geq 20\%$ und $\leq -20\%$ Leerzonenanteildifferenz.....	46
Abbildung 18: Anzahl der Hexagone mit LPI nach Versiegelungsgrad.....	48
Abbildung 19: Hexagone mit LPI nach Versiegelungsgraden, 2001 (li) und 2011 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	50
Abbildung 20: Hexagone mit LPI-Veränderung, 2001-2005 (li), 2001-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	50
Abbildung 21: Hexagone mit LPI-Veränderung, 2005-2011 (Quelle: eigene Darstellung).....	51
Abbildung 22: Anzahl der Pies mit LPI nach Versiegelungsgrad (Quelle: eigene Darstellung).....	51
Abbildung 23: Pies mit LPI nach Versiegelungsgrad 2001 (li) und LPI-Veränderung 2001-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	52
Abbildung 24: Anzahl der Bezirke mit LPI nach Versiegelungsgrad (Quelle: eigene Darstellung). .	53

Abbildung 25: Maßnahmen in Berlin Marzahn-Hellersdorf im Rahmen von Stadtumbau Ost zwischen 2002 und 2015 (Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Bezirksamt Marzahn-Hellersdorf).....	53
Abbildung 26: Bezirke mit LPI nach Versiegelungsgrad, 2001 (Quelle: eigene Darstellung).....	54
Abbildung 27: Anzahl der Stadtteile mit LPI nach Versiegelungsgrad (Quelle: eigene Darstellung) .....	54
Abbildung 28: Stadtteile mit LPI nach Versiegelungsgrad, 2001 (li) und 2005 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	55
Abbildung 29: Stadtteile mit LPI-Veränderung, 2001-2005 (li) und 2005-2011 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	56
Abbildung 30: Anteil V1 pro Bezirk 2016 (li), pro Stadtteil 2005 (re) (Quelle: eigene Darstellung) .....	57
Abbildung 31: Anteil V1 pro Hexagon 2011 (li), pro Pie 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)....	58
Abbildung 32: Veränderung des V1-Anteils 2001-2005 pro Hexagon (oben li), pro Pie (oben re), pro Bezirk (unten li), pro Stadtteil (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung).....	59
Abbildung 33: Veränderung des V1-Anteils 2005-2011 pro Hexagon (oben li), pro Pie (oben re), pro Bezirk (unten li), pro Stadtteil (unten re) (Quelle: eigene Darstellung).....	60
Abbildung 34: Anteil V2 pro Hexagon 2005 (oben), pro Stadtteil 2001 (unten li) und 2016 (unten li) (Quelle: eigene Darstellung).....	62
Abbildung 35: Anteil V2 pro Bezirk 2001 (li) und 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	63
Abbildung 36: Veränderung des V2-Anteils 2001-2016 pro Hexagon (li), pro Stadtteil (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	64
Abbildung 37: Veränderung des V2-Anteils pro Bezirk 2001-2016 (li), pro Pie 2011-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	64
Abbildung 38: Anteil V3 pro Hexagon 2011 (li), pro Pie 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)....	65
Abbildung 39: Anteil V3 pro Bezirk 2001 (oben li) und 2016 (oben re), pro Stadtteil 2001 (unten li) und 2016 (unten re) (Quelle: eigene Darstellung).....	66
Abbildung 40: Veränderung V3-Anteil pro Hexagon 2011-2016 (li) und 2001-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	67
Abbildung 41: Veränderung des V3-Anteils pro Bezirk 2001-2016 (li), pro Stadtteil 2011-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	68
Abbildung 42: Anteil V4 pro Hexagon 2001 (oben li) und 2016 (oben re), pro Pie 2016 (unten) (Quelle: eigene Darstellung).....	69
Abbildung 43: Anteil V4 pro Bezirk 2005 (li), pro Stadtteil 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung) .....	70
Abbildung 44: Veränderung des V4-Anteils pro Hexagon 2001-2005 (oben li) und 2011-2016 (oben re), pro Pie 2001-2005 (unten) (Quelle: eigene Darstellung).....	71

Abbildung 45: Veränderung des V4-Anteils pro Bezirk 2001-2005 (li) und 2011-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	72
Abbildung 46: Anteil V5 pro Hexagon 2001 (li) und 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	73
Abbildung 47: Anteil V5 pro Bezirk 2016 (li), pro Stadtteil 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung) .....	74
Abbildung 48: Veränderung des V5-Anteils 2001-2005 pro Hexagon (oben li), pro Bezirk (oben re), pro Stadtteil (unten li), pro Pie (unten re) (Quelle: eigene Darstellung).....	75
Abbildung 49: Veränderung des V5-Anteils 2005-2011 pro Hexagon (oben li), pro Bezirk (oben re), pro Stadtteil (unten li), pro Pie (unten re) (Quelle: eigene Darstellung).....	76
Abbildung 50: Veränderung des V5-Anteils pro Stadtteil 2011-2016 (Quelle: eigene Darstellung).	77
Abbildung 51: Anteil der Versiegelungsgrade pro Hexagon (Quelle: eigene Darstellung).....	78
Abbildung 52: Baufertigstellungen in den Berliner Bezirken 2001-2015 (Quelle: Investitionsbank Berlin, 2012 & 2017, eigene Darstellung).....	79
Abbildung 53: SHDI pro Hexagon 2016 (li), pro Bezirk 2011 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	80
Abbildung 54: SHDI-Veränderung 2001-2016 pro Hexagon (li), pro Bezirk (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	81
Abbildung 55: SHDI-Veränderung pro Stadtteil 2001-2005 (li) und 2005-2011 (re) (Quelle: eigene Darstellung).....	81
Abbildung 56: Durchschnittlicher SHDI pro Hexagon.....	82

## **Danksagung**

Ich danke dem gesamten UNIGIS Lehrgangsteam sowie Prof. Dr. Josef Strobl für die Unterstützung während der gesamten Studienzeit. Ein besonderes Dankeschön geht dabei an Dirk Tiede, der mir mit Ratschlägen während der Bearbeitung dieser Master Thesis zur Seite stand.

Danke auch all diejenigen, die mich während der berufsbegleitenden Studienzeit sowie der Erstellung dieser Master Thesis unterstützt und motiviert haben.

## **Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen ist. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

10.08.2019,

*Datum, digitale Signatur*

## Zusammenfassung

Die weltweit fortschreitende Urbanisierung bringt negative Auswirkungen, wie Raumknappheit, mit sich und trägt zur globalen Klimaerwärmung bei. Der zunehmenden Bodenversiegelung kann mithilfe von Grünflächen entgegengewirkt werden, was zu Konflikten der Stadtplanung im Dreieck zwischen sozialen, ökologischen und ökonomischen Zielen führt. Die integrative Strategie der *doppelten Innenentwicklung* setzt sich die Nachverdichtung in der Innenstadt mit dem parallelen Erhalt von Grünflächen zum Ziel. Am Beispiel Berlin soll in dieser Arbeit der Fokus auf der Umsetzung der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* liegen und beantwortet werden, ob diese Strategie in den Jahren 2001 bis 2016 erfolgreich umgesetzt wurde und in der Stadtstruktur erkennbar ist.

Mithilfe von GIS-Analysen wird die Entwicklung entgegengesetzter Flächennutzungen integrativ untersucht. Die aus der Landschaftsökologie hervorgegangenen *Urban Metrics* sind Indikatoren, die sich auf räumlich-urbane Charakteristika beziehen und Veränderungs- bzw. Wachstumsprozesse von Stadtgefügen hervorheben. Sie sollen auf zonaler räumlicher Ebene angewandt und die Ergebnisse im Verlauf der Zeit analysiert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass große Grünflächen erhalten werden, während kleinere Grünflächen zunehmend verschwinden. Dies bedeutet ein Bewusstsein für die Bedeutung von Grünflächen in der Stadt, welches jedoch dem Druck nach verstärktem Wohnungsbau nachgereicht ist. Insgesamt nimmt die Versiegelung, insbesondere im Innenstadt- und innenstadtnahen Bereich, zu. Es kann von einer gelungenen Strategie der *doppelten Innenentwicklung* in Berlin gesprochen werden, auch wenn diese zugunsten der Verdichtung im Sinne des ökonomischen und sozialen Drucks ausfällt.

Die Frage, wie mit steigender Stadtbevölkerung einerseits und dem Klimawandel andererseits in urbanen Räumen umgegangen werden soll, wird gesellschaftlich und politisch eine immer brisantere Rolle spielen. Die Analyse, Verortung und Sichtbarmachung von Versiegelungsgraden innerhalb der Stadt mithilfe von *Urban Metrics* leistet einen Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung und kann in Form von Kartendarstellungen der Ergebnisse als bedeutendes Kommunikationsmittel in der interdisziplinären Planung dienen.

## **Abstract**

The worldwide progressing urbanization has negative effects, such as shortage of space, and contributes to global warming. Increasing soil sealing can be counteracted with green spaces, leading to urban planning conflicts in the triangle between social, environmental and economic objectives. The integrative strategy of double inner development aims at redensification in the inner city with the parallel preservation of green spaces. Taking Berlin as an example, this paper will focus on the implementation of the strategy of 'double inner city development' and discuss the extent to which the city has changed as a result of this strategy in the years 2001 to 2016.

GIS analyses will be used to integratively investigate the development of opposing land uses. The urban metrics resulting from landscape ecology are indicators that refer to spatial-urban characteristics and highlight processes of change and growth of urban structures. They are analyzed over time at the zonal spatial level.

The results show that large green spaces are preserved, while smaller green spaces are increasingly disappearing. Overall, there is a tendency towards increasing sealing, especially in the inner city and the area close to the city centre. It is possible to speak of a successful strategy of 'double inner development' in Berlin, even if this is in favour of densification in the sense of economic and social pressure.

Dealing with the increasing urban population on the one hand and climate change in urban areas on the other will play a more explosive role. The analysis, localisation and visualisation of degrees of sealing within the city with the help of Urban Metrics could make a contribution to sustainable urban development by using maps to communicate scientific results in interdisciplinary planning.

## 1. Einleitung

Am 1. Januar 2016 sind die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen (UN) in Kraft getreten. Ziel Nummer 11 beinhaltet Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig zu gestalten. Dies begründet sich unter anderem wie folgt:

„Half of humanity – 3.5 billion people – live in cities today, and this number will continue to grow. Because the future will be urban for a majority of people, the solutions to some of the greatest issues facing humans – poverty, climate change, healthcare, education – must be found in city life. [...] Many cities are also more vulnerable to climate change and natural disasters due to their high concentration of people and location so building urban resilience is crucial to avoid human, social and economic losses.“ (United Nations, 2019)

Soziale und ökologische Herausforderungen kumulieren in dicht besiedelten Räumen, weswegen Lösungen für Städte gefunden werden müssen. Dies geht mit einer weltweiten Zunahme der städtischen Bevölkerung einher, die sich in Zukunft noch weiter fortsetzen wird (Kabisch & Haase, 2013). Die fortschreitende Urbanisierung bringt Herausforderungen und negative Auswirkungen, wie Raumknappheit, mit sich und trägt zur globalen Klimaerwärmung bei (Thierfelder & Kabisch, 2016). Denn die Ausbreitung urbaner Räume bedeutet unter anderem zunehmende Bodenversiegelung, die zu so genannten Wärmeinseleffekten in Städten führt (Dugord *et al.*, 2014). Wärmeinseleffekte lösen Hitzewellen im städtischen Klima aus und beeinflussen somit die Gesundheit und Lebensqualität der Städter\_innen maßgeblich.

Es entstehen Konflikte der Stadtplanung im Dreieck zwischen sozialen, ökologischen und ökonomischen Zielen, da Wärmeinseleffekten mit innerstädtischen Grünflächen entgegengewirkt werden kann (Kabisch & Haase, 2013). Zum Beispiel steht eine Reduzierung des Flächenverbrauchs der Entwicklung von Wohnräumen, Gewerbe, Industrie und Verkehr gegenüber (Artmann, 2014). Die stadtplanerische Herausforderung im Umgang mit Städtewachstum und dem Klimawandel braucht deswegen Strategien der parallelen und integrativen Entwicklung. Die Strategie der *doppelten Innenentwicklung* setzt sich zum Ziel, Nachverdichtung in Städten mit dem Schaffen und Erhalten von Grünflächen integrativ zu betrachten und umzusetzen (Kühnau *et al.*, 2016).

Die Stadt Berlin verzeichnet in den letzten Jahren eine hohe Zahl an Zuzügen und ist somit vom allgemeinen Trend der Urbanisierung stark betroffen. Dies zeigt das im Strategieplan der Stadt angestrebte Ziel, bis zum Jahr 2030 15.000 bis 20.000 neue Wohnungen pro Jahr zu schaffen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016b). Parallel dazu besteht in Berlin derzeit noch eine nennenswerte Anzahl an innerstädtischen Grünflächen (Thierfelder & Kabisch, 2016).

Die Stadt verzeichnet aber dennoch zunehmend mehr Tropennächte und Temperaturunterschiede bis zu +12°C im Vergleich zum Umland (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Dementsprechend finden sich im *Stadtentwicklungsplan Klima* Ziele, wie Entsiegelung, Gebäudebegrünung usw. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Die Leitziele der Stadt Berlin machen die Strategie einer *doppelten Innenentwicklung* deutlich. In der Umsetzung tritt Berlin dabei als Positivbeispiel hervor (Thierfelder & Kabisch, 2016).

Mit Berlin als herausragendem Untersuchungsgebiet will diese Arbeit die Entwicklung von stark versiegelten Flächen im Vergleich zur Entwicklung von Grünflächen im Zeitraum von 2001 bis 2016 untersuchen und geht folgender Forschungsfrage nach: Inwiefern hat sich Berlin aufgrund der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* bzw. durch Ver- und Entsiegelung zwischen 2001 und 2016 verändert? Das Nachhaltigkeitsdreieck zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialem zeichnet sich in Berlin durch eine Ausprägung in der Umsetzung ökonomischer und sozialer Ziele aus. Dies ist auf die Verschuldung der Stadt sowie große Wohnungsknappheit aufgrund starker Urbanisierung zurückzuführen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Aufgrund der im Vergleich zu anderen Großstädten vielen Grünflächen Berlins verschiebt sich das Gleichgewicht noch mehr in Richtung Ökonomie und Soziales. Daraus resultiert die Annahme, dass die *doppelte Innenentwicklung* in Berlin in den letzten 15 Jahren zugunsten der Verdichtung im Sinne des ökonomischen und sozialen Drucks ausgefallen ist. Im Sinne der von der Stadt Berlin verfassten Klimaziele sollten auf kleinräumiger Ebene vor allem diejenigen Bezirke, die verhältnismäßig viele Grünflächen zum Untersuchungsbeginn aufweisen, von starker Versiegelung betroffen sein. Im Sinne der Innenentwicklung ist jedoch auch davon auszugehen, dass durch Nachverdichtung ebenso im Stadtkern eine zunehmende Versiegelung stattgefunden hat.

Mithilfe von GIS-Analysen können Landnutzungsmuster sichtbar gemacht und aufgrund der dadurch erkennbaren Stadtstruktur stark versiegelte Gebiete lokalisiert werden (Dugord *et al.*, 2014). Grundlage dieser Herangehensweise sind etablierte Forschungsansätze aus der Landschaftsökologie, die auf den städtischen Raum übertragen werden (Deilmann *et al.*, 2017). Dabei werden *Urban Metrics* meist auf Blockebene angewandt und die Ergebnisse mit entsprechenden Messgrößen verglichen (ebd.). Diese Arbeit möchte diesen Ansätzen folgen, die Analysen jedoch auf zonaler Ebene durchführen. Es wird erwartet, dadurch Veränderungen in der Stadtstruktur – durch Versiegelung und das Schaffen von Grünflächen – deutlich sichtbar machen zu können. GIS-Analysen ermöglichen dabei nicht nur die Untersuchung der Verteilung verschiedener Versiegelungsgrade im Raum, sondern auch einen Vergleich zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dementsprechend sollen die

Ergebnisse nicht mit Messgrößen verglichen, sondern durch die Veränderungen im Verlauf der Zeit gewertet werden. Die Analyse über die Zeit macht städtische Prozesse, wie enormen Wohnungsbau aufgrund des Bevölkerungswachstums, sowie die Umsetzung von Leitstrategien sichtbar. Die Ergebnisse werden anschließend miteinander verglichen und zudem qualitativ validiert.

Die Frage, wie mit steigender Stadtbevölkerung einerseits und dem Klimawandel andererseits in urbanen Räumen umgegangen werden soll, spielt bereits heute eine bedeutende Rolle. In Zukunft wird diese Frage jedoch noch brisanter werden. Am Positivbeispiel Berlin soll deswegen in dieser Arbeit der Fokus auf der Umsetzung der Strategie *doppelte Innenentwicklung* liegen und beantwortet werden, inwiefern sich die Stadt aufgrund dieser in den Jahren 2001 bis 2016 verändert hat.

Konkret soll die Entwicklung entgegengesetzter Flächennutzungen integrativ untersucht werden. Von besonderem Interesse ist, in welchem Verhältnis zueinander sich Bodenversiegelung und Grünflächen innerhalb räumlicher Zonen in diesem Zeitraum verändert haben. Für die Analyse sollen deswegen verschiedene räumliche Zonen – einheitliche und verwaltungstechnische – herangezogen und miteinander verglichen werden. Damit erfolgt zudem eine Annäherung an die Frage, inwiefern die Stadtstruktur durch die *doppelte Innenentwicklung* zwischen 2001 und 2016 umgestaltet wurde. Räumlich wird der Blick auch auf die Bezirksebene gerichtet, da auf dieser Leitstrategien umgesetzt und politische Entscheidungen getroffen werden. Final soll auf Basis der Untersuchungen eine Einschätzung gegeben werden, ob von einer gelungenen Strategie der *doppelten Innenentwicklung* in Berlin gesprochen werden kann.

Um die Forschungsfrage nach der Veränderung der Stadt aufgrund der *doppelten Innenentwicklung* und ihre operativen Teilfragen beantworten zu können, bedarf es vorab einer theoretischen Einführung. Im auf die Einleitung folgenden Kapitel sollen die Themen der zunehmenden Urbanisierung, Wärmeinseleffekte in Städten, Bodenversiegelung und -management sowie der Konflikt der Nachhaltigkeitsdimensionen eine theoretische Basis für die späteren Berechnungen und Interpretationen liefern. Das Kapitel der theoretischen Grundlagen endet schließlich mit einer Beschreibung der Stadt Berlin als Studiengebiet und ihrer Entwicklung hinsichtlich oben genannter Themen.

In Kapitel drei soll anschließend die Untersuchungsmethode beschrieben werden. Dafür bedarf es einer Einführung in das Basiskonzept der *Urban Metrics*, der konkreten Formulierung von Hypothesen, auf denen die Analyse beruht, und einer Beschreibung der Daten, die analysiert werden sollen. Der Lösungsansatz beinhaltet dann die Kategorisierung der Daten nach Versiegelungsgraden und die Vorstellung verschiedener räumlicher Zonen. Die *Urban Metrics* werden speziell mit drei

verschiedenen Methoden – Largest-Patch-Index, Area Metrics und Shannon-Diversity-Index – in dieser Arbeit angewandt. Schließlich wird der *Tool*-Einsatz, sprich das konkrete Vorgehen bei der Untersuchung der Versiegelungsgrade mithilfe von *Urban Metrics*, erläutert. Dies geht aufgrund der Datengrundlage mit einigen Limitationen einher, die genauso wie die geplante Validierung der Ergebnisse am Ende des Kapitels benannt werden.

Nachdem die in dieser Arbeit verwendete Methode ausführlich in Kapitel drei beschrieben wurde, folgt die Vorstellung der Ergebnisse. Hier wird zusammengetragen was die Berechnungen des Largest-Patch-Index, der Area Metrics und des Shannon-Diversity-Index für die verschiedenen Versiegelungsgrade und auf den unterschiedlichen räumlichen Ebenen ergeben haben. Die Verschriftlichung der Ergebnisse wird dabei durch Kartendarstellungen unterstützt.

Darauffolgend werden die Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfrage und ihrer operativen Teilfragen diskutiert. Am Ende der Arbeit steht ein Fazit, das die Ergebnisse in den wissenschaftlichen und politischen Kontext der Stadtentwicklung einordnet.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1. Urbanisierung

Im Jahr 2018 lebten 55 Prozent der Weltbevölkerung in Städten (United Nations, 2018). Die städtische Bevölkerung hat in den letzten Jahren ein enormes Wachstum erfahren und wird bis 2050 auf 68 Prozent der Weltbevölkerung ansteigen (ebd.). Europa gehört zu den am stärksten urbanisierten Regionen der Welt; 74 Prozent der Bevölkerung lebt hier in Städten (ebd.). Durch diese Urbanisierungsprozesse stehen Städte vor der Herausforderung, mit Raumknappheit und negativen Umweltauswirkungen, wie Luftverschmutzung oder Lärm, umgehen zu müssen (Kabisch & Haase, 2013). Zudem tragen Städte mit ihrem hohen Energieverbrauch und als Hauptverursacherinnen der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen wesentlich zum Klimawandel bei (Creutzig *et al.*, 2015).

Mit dem Anstieg der städtischen Bevölkerung wird auch die städtische Bodenbedeckung weltweit um rund 1,5 Millionen km<sup>2</sup> bis zum Jahr 2030 weiter zunehmen (Seto *et al.*, 2011). Das physische Wachstum von Städten bringt unterschiedliche räumliche Muster mit sich (Artmann *et al.*, 2019a). Das Muster der Zersiedelung beschreibt den räumlichen Prozess der Urbanisierung, der die uneingeschränkte städtische Expansion zusammen mit dem Wachstum der Stadtbevölkerung charakterisiert (Artmann *et al.*, 2019b). Bezogen auf die Landnutzung bedeutet dies die Zersiedelung mit Einfamilienhäusern, erweiterte Verkehrsinfrastrukturen und freistehende Gewerbe- und Industriegebiete (ebd.). Dieses verstreute Muster führt daraus resultierend zu schwerwiegenden ökologischen und sozialen Auswirkungen, wie erhöhter Luftverschmutzung durch Langstreckenpendler\_innen, Fragmentierung von Naturräumen, Verlust der Biodiversität und sozialer Segregation (Gavriliadis *et al.*, 2019).

Zusätzliche Faktoren, wie ein Anstieg der Zahl kleiner Haushalte mit größerer Wohnfläche, verstärken das Problem der Raumknappheit im Stadtinneren (Kabisch & Haase, 2013). Die dadurch entstehende zunehmende Bautätigkeit, Verdichtung und Ausweitung der Stadt wird die Stadtbewohner\_innen in den Zugangsmöglichkeiten zu urbanen Grünflächen einschränken und soziale Ungleichheiten mit sich bringen (Coppel & Wüstemann, 2017). Das Konzept der *kompakten Stadt der kurzen Wege*<sup>1</sup>, die *Innen- vor Außenentwicklung* anstrebt, hat durch die notwendige Red

---

1 Die *kompakte Stadt der kurzen Wege* strebt Nachverdichtung in den Innenstädten vor der Erschließung neuen Baulands außerhalb der Innenstadt an, um Fläche zu sparen (Kabisch, 2015). Durch die Dichte an Infrastruktur ist es außerdem möglich, alle notwendigen Wege mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurück zu legen, wodurch der Kfz-Verkehr und die dadurch entstehende Umweltbelastung verringert werden sollen (Creutzig *et al.*, 2015).

uzierung von innerstädtischen Grünflächen somit auch Schwächen (Anguluri & Narayanan, 2017). In Wissenschaft und Politik ist die Förderung der *kompakten Stadt* und der Nachverdichtung, um Zersiedelung und ihren negativen Folgen entgegenwirken zu können, jedoch weitestgehend anerkannt (Artmann *et al.*, 2019a).

Doch urbaner Grünraum ist insbesondere in einer zunehmend urbanisierten Welt bedeutend für die Lebensqualität der Bewohner\_innen, unterstützt die Luft- und Wasserreinigung und bietet Freizeitmöglichkeiten (Coppel & Wüstemann, 2017). Der Begriff *urbanes Grün* umfasst dabei alle städtischen Grünräume, wie Parks, Straßenbäume, Gärten, und städtischen Grünstrukturen an Gebäuden sowie auch Blauräume, sprich Gewässer inklusive Gewässerufern (Böhm *et al.*, 2016). Studien aus der Medizin und der Psychologie zeigen, dass städtische Grünflächen positive Auswirkungen sowohl auf die psychische als auch physische Gesundheit haben (Coppel & Wüstemann, 2017). Zudem können urbane Grünflächen den negativen Umweltauswirkungen von Städten entgegenwirken, indem sie den Klimawandel regulieren, die Luftqualität verbessern und biologische Vielfalt schützen (Artmann *et al.*, 2019a). Deswegen hat sich die *grüne Infrastruktur* als Konzept in der Stadtplanung in den letzten zwei Jahrzehnten entwickelt (Breuste *et al.*, 2015). Die *grüne Infrastruktur* beinhaltet die strategische Planung urbaner Grünflächen verschiedener Arten im städtischen Raum (Artmann *et al.*, 2019b).

Die städtebauliche Planungspolitik hat die Möglichkeit, zur Abschwächung des Klimawandels beizutragen, dies ist jedoch abhängig vom Stadttyp und damit dem Finden einer wirksamen Strategie für die unterschiedlichen Arten von Städten (Creutzig *et al.*, 2015).

## 2.2. Wärmeinseleffekt

Die Oberflächentemperatur ist in den letzten 30 Jahren deutlich gestiegen (Hansen *et al.*, 2006). Durch die globale Erwärmung nahm auch seit 1950 das Auftreten extremer Hitzewellen, die eine zunehmende Gefährdung für die Stadtbevölkerung bedeuten, in europäischen Städten zu (Smid *et al.*, 2019). Dabei gibt es eine ungleiche Verteilung in der Stadtbevölkerung, welche Menschen mehr und welche weniger von den Gesundheitsrisiken durch Hitzewellen betroffen sind (Fernandez Milan & Creutzig, 2015). Säuglinge, ältere und kranke Menschen, sprich diejenigen, deren körperliche Anpassungsfähigkeit an extreme Bedingungen noch nicht vollständig entwickelt bzw. geschwächt ist, leiden am meisten unter so genanntem Hitzestress (Straka & Sodoudi, 2019). Neben der Altersverteilung stellt auch die Bevölkerungsdichte einen Faktor dar, der die Anfälligkeit für Hitzestress erhöht: In Großstädten, wie Berlin, steigt bei starken Hitzewellen die Sterblichkeitsrate

und dies insbesondere in den am dichtesten bebauten Stadtteilen (Gabriel & Endlicher, 2011). Die Kombination der Auswirkungen von Klimaerwärmung, zunehmender Urbanisierung und dem demographischen Wandel bzw. der Alterung der Bevölkerung bedeutet ein erhöhtes Risiko von hitzebedingtem Stress (Dugord *et al.*, 2014). Dabei führen sowohl die globale Klimaerwärmung als auch *Urban Heat Islands* (UHI) zu ansteigender Häufung, anhaltender Dauer und zunehmender Intensität von Hitzewellen (Fernandez Milan & Creutzig, 2015).

Unter dem *Urban Heat Island* (UHI-)Effekt wird die erhöhte Luft- und Oberflächentemperatur in Städten im Vergleich zu ihrer ländlichen Umgebung verstanden (Böhm *et al.*, 2016). Durchschnittlich ist es in Städten um +2 bis +4 Grad wärmer (ebd.). Diese erhöhte Temperatur entsteht durch eine größere Energiespeicherung der städtischen Oberflächen, die im Urbanisierungsprozess aufgrund der Umwandlung von natürlichen zu undurchdringlichen Oberflächeneigenschaften zunimmt (Li *et al.*, 2018). Dabei bedingen die spezifische Stadtstruktur, Landnutzungsmuster und Grad der Versiegelung den UHI-Effekt (Thin *et al.*, 2002). Gebäudeanordnungen führen beispielsweise zu veränderten Windstromverhältnissen und verringerten Luftaustauschprozessen (Böhm *et al.*, 2016). In Bezug auf die Landnutzung bedeutet dies, dass dicht versiegelte, innerstädtische Gebiete höhere Temperaturen aufweisen als urbane Grünflächen (Dugord *et al.*, 2014).

Der Kühleffekt durch Grünflächen, also die geringere Temperatur im Vergleich zum versiegelten Umfeld, wird als *Park Cool Island* (PCI-)Effekt bezeichnet (Dugord *et al.*, 2014). Wie hoch dieser Entlastungseffekt ist, hängt dabei von der Größe, dem Relief und der Vegetationsbedeckung der Grünflächen ab (Böhm *et al.*, 2016). Während in hoch verdichteten innerstädtischen Gebieten Grünflächen nur als kleinklimatische Entlastungsflächen dienen können, weisen eine lockere Bebauung in Kombination mit größeren Grünflächen stärkere Durchlüftungs- und Abkühlungseffekte auf (ebd.). In einer Stadt gibt es daher nicht nur eine Wärmeinsel, sondern mehrere, die sich über das Stadtgebiet, verstreut zwischen PCIs, verteilen (Gill *et al.*, 2007).

Die Stadtstruktur hat somit einen direkten Einfluss auf die Verteilung von UHIs. Durch die Erweiterung und den Erhalt von urbanen Grünflächen kann UHIs entgegengewirkt und die Stadt dem Klimawandel gegenüber widerständiger gestaltet werden (Gill *et al.*, 2007). Sollten Städte durch zunehmende Urbanisierung jedoch eine horizontale Verdichtung und damit eine einhergehende Versiegelung zur Erhöhung des Wohnungsbaus erfahren, fördert dies den UHI-Effekt und die Zahl der Menschen, die unter Hitzestress leiden, wird steigen (Straka & Sodoudi, 2019). Deswegen sollte in bereits dicht bebauten innerstädtischen Gebieten eine weitere Bodenversiegelung vermieden und die Vegetationsdichte erhöht werden (Dugord *et al.*, 2014). Zudem wäre es sinnvoll, Neubauten in ent-

sprechender Entfernung von Wärmeinseln zu errichten, was allerdings in Konflikt mit der Strategie der *kompakten Stadt der kurzen Wege* steht (ebd.).

### **2.3. Bodenversiegelung und Bodenmanagement**

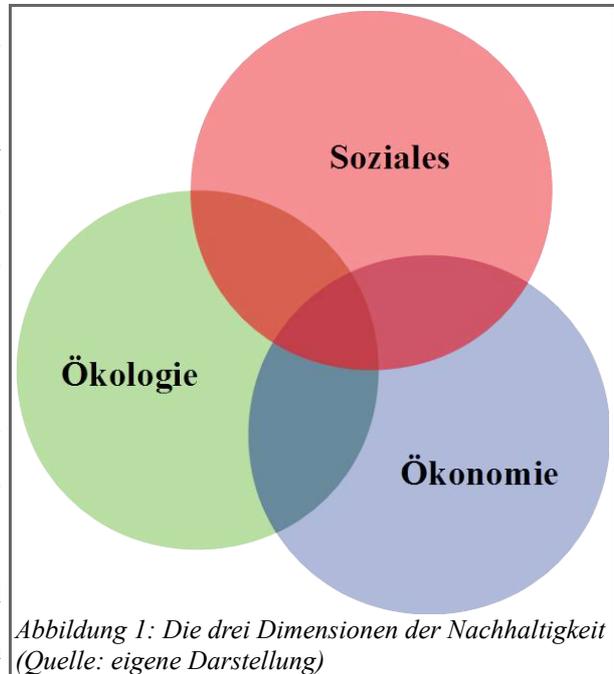
Die Bodenversiegelung steht in einem engen Zusammenhang mit dem Flächenverbrauch, d.h. der Umwandlung von natürlichen Flächen, wie Wald- oder Agrarflächen, in Siedlungs- und Verkehrsflächen (Artmann, 2014). Dabei wird der Boden mit undurchlässigem Kunstmaterial, wie Beton, Asphalt und Ziegeln, bedeckt, was sowohl Schäden für die Umwelt als auch für die Lebensqualität der Stadtbewohner\_innen mit sich bringt (Kabisch & Haase, 2013). Bodenversiegelung wirkt umweltbelastend durch die Beeinflussung klimatischer Prozesse, der Biodiversität und des Wasserabflusses und trägt zur Entstehung von UHIs bei (Artmann, 2016). Dennoch wird in europäischen Städten durch den Bau neuer Wohngebiete, unabhängig vom Bevölkerungswachstum, vermehrt Boden versiegelt (Kabisch & Haase, 2013). Zwischen 1990 und 2006 nahm die Bodenversiegelung in Europa um 8,8 Prozent zu (Artmann, 2016). Darunter leiden andere Landnutzungen, wie landwirtschaftliche Flächen zur Nahrungsmittelproduktion sowie Wasser- und Grünflächen, die abseits des Umweltaspekts Erholungsräume für die städtische Bevölkerung darstellen (Artmann, 2014). Somit bestehen Städte aus einem Mosaik von verschiedenen Landnutzungen, die den Grad der Versiegelung und der Vegetation bestimmen (Gill *et al.*, 2008).

Diese komplexen räumlichen Muster symbolisieren die Vernetzung räumlicher Prozesse in Städten, die verschiedene Managementbereiche, wie das Bodenmanagement, umfasst (Artmann, 2016). Das Ziel eines nachhaltigen Bodenmanagements ist die Ressourceneffizienz, sprich die Minimierung des Ressourcenverbrauchs bei gleicher oder erhöhter Bautätigkeit (Deilmann *et al.*, 2016). Dass ein Bewusstsein für die Bedeutung des Bodenschutzes besteht, zeigt das von der UN erklärte Jahr 2015 als *Internationales Jahr der Böden* mit dem Ziel, nachhaltiges Bodenmanagement und Strategien für den Bodenschutz zu fördern (Artmann, 2016). Zudem haben einige europäische Staaten nationale Ziele zur Reduzierung von Landnahme und Bodenversiegelung festgelegt. Deutschland schließt sich diesem mit dem 30-Hektar-Ziel, das eine Reduzierung der täglichen Landnutzung auf 30 Hektar bis 2020 anstrebt, an (Adrian *et al.*, 2018). Bis 2030 soll die Landnutzung auf 20 Hektar pro Tag minimiert werden (ebd.). Es besteht jedoch Kritik, dass die Ziele einer nachhaltigen Landnutzung durch eine effiziente Steuerung der Bodenversiegelung aufgrund fehlender Verpflichtungen und mangelnder institutioneller Akzeptanz bei Stadtplaner\_innen und Entscheidungsträger\_innen behindert werden (Artmann, 2014). Insbesondere auf der Ebene der Kommunalverwaltungen

braucht es ein stärkeres Bewusstsein der Verantwortung dafür, die Bodenversiegelung zu begrenzen, um eine hohe städtische Lebensqualität zu gewährleisten (ebd.).

## 2.4. Nachhaltigkeitskonflikt

Das Bodenversiegelungsmanagement ist von Landnutzungskonflikten zwischen Wohn-, Gewerbe-, Industrie-, Verkehrs- und Grünflächen sowie der Herausforderung, im Einklang mit sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Zielen die Entwicklung dieser voranzutreiben, geprägt (Artmann, 2014). Da der Raum dafür begrenzt ist, müssen Kompromisse zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen getroffen werden (ebd.). Beispielsweise können durch eine kompakte Stadtform bzw. eine Stadt der kurzen Wege, gefahrene Fahrzeugkilometer und damit Treibhausgasemissionen reduziert werden



(Zhao & Li, 2017). Die dadurch entstehende Bevölkerungsdichte, Reduzierung von Grünflächen, Förderung von Wärmeinseleffekten usw. führt jedoch wiederum zu gesundheitlichen Problemen, wie psychischem Stress und der Häufung von Krankheitsausbrüchen (ebd.). Dabei besteht ein direkter Zusammenhang mit Gleichstellungsfragen, wie der Umweltgerechtigkeit, Gesundheitsgerechtigkeit und räumlicher Ungleichheit (ebd.). Gleichzeitig prägt die Entscheidung bei Landnutzungskonflikten auch die Art von Bodenbedeckungen und die Menge versiegelter Fläche, was wiederum Auswirkungen sowohl auf sozialer als auch ökologischer und ökonomischer Ebene mit sich bringt und zugleich das Funktionieren von Städten bestimmt (Breuste *et al.*, 2015).

Entscheidungsträger\_innen, wie Politiker\_innen und Planer\_innen, stehen somit vor der Herausforderung, bei der Landnutzung ein Gleichgewicht zwischen den drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu schaffen (Artmann, 2014). Dafür benötigt es innovative Konzepte, neue Analyseinstrumente und umfassende Planungsstrategien (Artmann *et al.*, 2019a).

## 2.5. Doppelte Innenentwicklung

Die schnelle Stadtentwicklung aufgrund des enormen Städtewachstums braucht integrative Ansätze, um mit den sozialen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen umzugehen (Artmann *et al.*,

2019a). Somit ist es wichtig beim weithin anerkannten Leitbild der *kompakten Stadt*, die innerstädtische Verdichtungsprozesse anstrebt, um weniger Landnahme zu betreiben, auch die Erhöhung der Umweltqualität und den Abbau sozialer Benachteiligung mitzudenken (Roo, 2016). Eine integrative Planung von kompakten und grünen Städten, also ein ganzheitliches Verständnis der Zusammenhänge zwischen den gebauten und grünen Komponenten ist für die Komplexität städtischer Systeme erforderlich (Artmann *et al.*, 2019a).

Im Sinne eines solchen ganzheitlichen Ansatzes ist die Notwendigkeit, flächensparend zu bauen und zu planen unumstritten (Böhm *et al.*, 2016). Meist sind in Städten, insbesondere weitläufigen Städten, Leerstandsflächen weit verbreitet (Gavrilidis *et al.*, 2019). Eine verstärkte Innenentwicklung, sprich die Wiedernutzung von Leerstandsflächen im innerstädtischen Bereich durch Brachflächenrecycling, Schließung von Baulücken oder Nachverdichtung, hat somit Potenzial für die Siedlungsentwicklung und schützt vor Zersiedelung und weiterer Landnahme (Hansen *et al.*, 2019). Das Konzept *Innen vor Außen* ist vor allem in wachsenden Regionen ein erklärtes Ziel, wobei unter „Innen“ bestehende Siedlungs- und Verkehrsflächen in zusammenhängenden bebauten Ortsteilen verstanden werden (Böhm *et al.*, 2016). Die nachhaltige *kompakte Stadt* umfasst hochverdichtete Wohnungen, gemischte Nutzungen, effiziente öffentliche Verkehrssysteme sowie die Förderung von Gehen oder Radfahren (Hansen *et al.*, 2019). Dabei darf die sinnvolle Nutzung von Flächenreserven im Bestand bzw. die Erschließung innerstädtischer baulicher Flächenpotenziale jedoch keine Reduzierung urbaner Grünflächen nach sich ziehen (Böhm *et al.*, 2016). Das Einhergehen der Schaffung von Grünflächen im Innenbereich mit der baulichen Innenentwicklung umfasst das Konzept der *doppelten Innenentwicklung*:

„Doppelte Innenentwicklung verfolgt [...] das Ziel, Flächenreserven baulich sinnvoll zu nutzen, gleichzeitig aber auch die Freiraumversorgung und -nutzbarkeit zu erhalten und die innerstädtischen Freiflächen zu entwickeln, miteinander zu vernetzen und qualitativ zu verbessern.“ (Böhm *et al.*, 2016)

Dabei handelt es sich um eine quantitative wie auch qualitative Zielsetzung. Der Begriff der *doppelten Innenentwicklung* wurde erstmals im Rahmen der *Internationalen Bauausstellung (IBA) Emscher Park (1989–1999)*, bei der städtebauliche Impulse und eine ökologische Verbesserung auf ehemaligen Brachflächen im Ruhrgebiet Zielsetzung waren, benutzt (Böhm *et al.*, 2016).

Der *Deutsche Rat für Landespflege* definiert *doppelte Innenentwicklung* wie folgt:

„Die Lebensqualität in Städten und Siedlungsräumen erhöht sich, ohne dass hierfür (längerfristig) neue Flächen in Anspruch genommen werden.“ (Deutscher Rat für Landespflege, 2006)

Mit einer behutsamen Verdichtung von Quartieren soll eine erhöhte Urbanität bzw. hohe urbane Wohn- und Lebensqualität in Städten erreicht werden (Deutscher Rat für Landespflege, 2006). Dies gelingt mithilfe architektonisch entsprechend gestalteter Gebäude, aber auch durch „attraktive[n] unterschiedlich nutzbare[n] Freiraum“, der zu Fuß oder mit dem Fahrrad erreichbar ist (ebd.).

Aufgrund des notwendigen Mengenrückgangs der urbanen Grünflächen für die *kompakte Stadt*, muss das bestehende Grünflächennetzwerk mehrere Vorteile gleichzeitig erbringen (Hansen *et al.*, 2019). Die angestrebte Multifunktionalität urbaner Grünflächen soll sowohl die wohnortnahe Erholung, Naturerfahrung, Sport- und Freizeitmöglichkeiten als auch ökologische Funktionen, wie Schutz der Biodiversität, Klimaregulierung und Verbesserung der Luftqualität, umfassen (Deutscher Rat für Landespflege, 2006). Freiräume sollen soziale, ökonomische und ökologische Funktionen übernehmen, die sich in der Fläche auch überlagern können, was mit dem Begriff *Ökosystemdienstleistungen* noch einmal deutlicher wird (Böhm *et al.*, 2016). Dieser umfasst Versorgungsdienstleistungen, wie Nahrungsmittel, Regulierungsdienstleistungen, wie Klimaregulierung, kulturelle Dienstleistungen, zum Beispiel Erholung, und Basisleistungen, wie Bodenschutz (ebd.). Insbesondere wachsende Städte sind sich der Notwendigkeit von Multifunktionalität aufgrund des durch das Städtewachstum und die Verdichtungsprozesse verursachten Flächenverbrauchs bewusst (Artmann *et al.*, 2019a). Zur Erfüllung der Multifunktionalität ist eine bestimmte Größe der urbanen Grünfläche unabdingbar (Böhm *et al.*, 2016). Sowohl hierbei als auch bei der Bestimmung der Grünfläche pro Person und der maximalen Entfernung bis zu einer Grünfläche gibt es unterschiedliche Maße je nach Stadt (ebd.). Ein Mindestflächenbedarf in Hinblick auf Naturschutz und Ökologie in Stadtgebieten wurde bisher nicht bestimmt (ebd.).

Formelle Planungsinstrumente können durch ihren Rechtscharakter die Umsetzung *doppelter Innenentwicklung* unterstützen (Böhm *et al.*, 2016). Dabei ist neben dem *Bebauungsplan* zur Steuerung der Siedlungsentwicklung vor allem der *Flächennutzungsplan* für die *doppelte Innenentwicklung* von besonderer Bedeutung, da dieser festlegt, welche Flächen in der Stadt in welcher Weise genutzt werden (ebd.). Zudem ermöglicht er die Verzahnung mit der Landschaftsplanung (ebd.). So haben einige Städte bei der Aufstellung des *Flächennutzungsplans* zusätzliche *Landschaftsprogramme*, welche die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftsplanung mit einbeziehen, aufstellt (ebd.).

Dennoch findet die *doppelte Innenentwicklung* im Vergleich zur baulichen Innenentwicklung nur im begrenzten Maße eine Umsetzung (Böhm *et al.*, 2016). Denn für eine erfolgreiche Umsetzung der *doppelten Innenentwicklung* ist die Zusammenarbeit der Stadtplanung, Landschaftsplanung und des

Naturschutzes in gemeinsamen Planungsprozessen unabdingbar (ebd.). Ein trans- und interdisziplinärer Ansatz wird benötigt, um der Mehrdimensionalität von kompakten und grünen Städten gerecht zu werden (Artmann *et al.*, 2019a). Denn nur, wenn gemischte Landnutzungen, Dichte und Qualität einschließlich der grünen Versorgung umgesetzt werden, kann eine Stadt der kurzen Wege erreicht werden (Artmann *et al.*, 2019b).

## **2.6. Berlin**

### **2.6.1. Kürzliche Entwicklungen in Berlin**

Berlin, Hauptstadt und größte Stadt Deutschlands, umfasst eine Fläche von ca. 891,1 Quadratkilometern (Coppel & Wüstemann, 2017). Im Jahr 2018 lebten in Berlin 3,63 Millionen Menschen, was einer Bevölkerungsdichte von 4.069 Menschen pro Quadratkilometer entspricht (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2018). Damit gehört Berlin zu den gemäßigt dicht besiedelten Städten (Coppel & Wüstemann, 2017). Dennoch verzeichnet Berlin in den vergangenen Jahren ein deutliches Bevölkerungswachstum. Dies zeigt sich beispielsweise in einer zwischen 1991 und 2010 neu verbauten Fläche von insgesamt 2.544 Hektar oder einem Bevölkerungswachstum zwischen 2011 und 2016 um 250.000 Einwohner\_innen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, 2017b). Im Zeitraum 2017 bis 2030 wird ein weiteres Bevölkerungswachstum um 181.000 Personen prognostiziert (ebd.).

Diese rasche Bevölkerungsentwicklung in den letzten sowie in den kommenden Jahren erhöht die Nachfrage nach Wohnraum und ist eng verbunden mit einem „deutlich angespannten Wohnungsmarkt[ ] mit steigenden Immobilien- und Mietpreisen“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, 2017b). Wird der Bevölkerungsprognose eine durchschnittliche Berliner Haushaltsgröße zugrunde gelegt, wird insgesamt bis einschließlich 2030 ein Wohnungsneubedarf von rd. 15.000 bis 20.000 neuen Wohnungen jährlich errechnet (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016b). Die Notwendigkeit der Schaffung neuer Wohnungen aufgrund des Bevölkerungswachstums sowie finanzielle Engpässe im städtischen Haushalt geraten dabei in Konflikt mit der Bereitstellung urbaner Grünflächen (Coppel & Wüstemann, 2017).

Derzeit sind 33 Prozent der gesamten Stadtfläche versiegelt, davon sind 11 Prozent bebaute versiegelte Fläche mit Gebäuden aller Art und 22 Prozent unbedachte versiegelte Fläche, wie Straßen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Im Gegensatz dazu sind fast 44 Prozent der Stadtfläche Wald, Landwirtschaft, Gewässer, Kleingärten, Parkanlagen oder Sportflä-

chen, was die Stadt mit ihren über 100 Parks weltweit zu einer der grünsten Städte macht (Kabisch & Haase, 2014).

Trotz der bestehenden Grün- und Blauachsen ist jedoch zu berücksichtigen, dass die großen Naherholungsgebiete am Stadtrand liegen und in der verdichteten Innenstadt bzw. verdichteten Stadtrandbereichen nur wenige Grünflächen zur Verfügung stehen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2013). Grünraum ist somit nicht gleichmäßig in der Stadt verteilt und für verschiedene soziale Gruppen nicht gleichermaßen zugänglich (Kabisch & Haase, 2013).

Die Region Berlin-Brandenburg verzeichnet zwischen Beginn und Ende des 20. Jahrhunderts einen Temperaturanstieg um plus ein Grad Celsius (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Während der letzten Jahre hat zudem die Anzahl der Tropennächte, d.h. Nächte mit einer Temperatur von über 20 Grad Celsius, zugenommen (siehe Abbildung 2) (ebd.).

Der Temperaturunterschied zwischen Innenstadt und Umland kann dabei zwischen drei Grad Celsius tagsüber und zwölf Grad Celsius nachts liegen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Die beiden Wetterextreme Hitzeperioden und Starkregen gelten in Berlin als diejenigen klimabezogenen Herausforderungen, welche die urbane Lebensqualität insbesondere in der Innenstadt



Abbildung 2: (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015)

vermindern (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Die Prognose für die Jahre 2050/2100 sagt vor allem ein Ansteigen der Temperaturen, eine Zunahme des Anteils heißer Tage und von Hitzeperioden im Sommer, des Niederschlags im Winter, des Starkregens sowie der Zunahme des Zusammentreffens mit Hitze- und Trockenperioden, welche die Hitzebelastungen in der Stadt deutlich erhöhen, voraus (ebd.). Grundsätzlich gilt: je mehr die Stadt Berlin verdichtet wird, desto mehr Relevanz bekommt das Thema der Hitzevorsorge (ebd.).

## 2.6.2. Strategiepläne zur doppelten Innenentwicklung in Berlin

Entsprechende Maßnahmen empfiehlt der **Stadtentwicklungsplan Klima**, der sich mit den städtebaulichen Aspekten des Klimawandels in Berlin befasst (Thierfelder & Kabisch, 2016). Urbaner Hitze soll mit Durchlüftung, Verschattung, erhöhter Rückstrahlung und Kühlung durch Verdunstung, mithilfe von Bäumen sowie entsprechender Vegetation und Böden, entgegengewirkt werden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Bezüglich der Überflutungsgefahr wird der Fokus auf Versickern, Verdunsten, Speichern, Zurückhalten und Ableiten über Notwasserwege gelegt (ebd.).

Um beide Ziele verwirklichen zu können, bedarf es einen Umbau der Oberfläche der Stadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Dabei spielen die verschiedenen Siedlungsstrukturen beziehungsweise die Art der Bebauung eine entscheidende Rolle (ebd.). Neben der Umgestaltung der Oberflächen sowie der Entwicklung von Grünflächen sind weitere Strategien der Stadt Berlin die Schaffung von Dachbegrünungen, grüner Fassadengestaltung und kühlen Höfen, das Pflanzen von Bäumen sowie das Anlegen von Kühlbeeten oder Pocket-Parks (ebd.).

Formen urbanen Gärtners entwickeln sich in Berlin zunehmend aus der Zivilgesellschaft (Kabisch, 2015). Ein bedeutendes Beispiel dafür sind die *Prinzessinnengärten*, wo sich Menschen verschiedener Kulturen treffen, gemeinsam pflanzen, sich gegenseitig helfen und künstlerisch tätig sind (ebd.).

Ein anderes, sehr wichtiges strategisches Instrument, um die ökologischen Belange in die Stadtentwicklung zu integrieren, ist das **Berliner Landschaftsprogramm** (LaPro) (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin, 2017). Dieses hat zum Ziel die Berliner Landschaft und Natur zu schützen und weiterzuentwickeln (ebd.). Das LaPro ist eng mit dem *Flächennutzungsplan* verbunden, ergänzt die vorbereitende Bauleitplanung und ist rechtsverbindlich (ebd.).

Das **Stadtentwicklungskonzept Berlin 2030** beschreibt die Stadt in der Zukunft und Leitlinien für den Weg dorthin. In Hinblick auf das Wachstum setzt Berlin mit dem Leitbild einer *kompakten Stadt* auf Verdichtung mithilfe von Um- und Nachnutzung (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Durch die besondere polyzentrische Struktur und die dadurch wohnortnahen Versorgungsangebote und sozialen Infrastrukturen, hat Berlin eine herausragende Ausgangslage auf dem Weg hin zur *Stadt der kurzen Wege* (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015).

Mit dem Fokus auf Innenentwicklung und Verdichtung sollen jedoch insbesondere bei Neubauten die negativen Folgen für Klima und Wohlbefinden durch Verlust von Grünflächen mitgedacht wer-

den (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Insbesondere bei Bauvorhaben in der Innenstadt sind Maßnahmen der Klimaanpassung unabdingbar (ebd.). Im *Stadtentwicklungskonzept Berlin 2030* präsentiert sich die Stadt auch weiterhin als „grüne“ Stadt:

„In Berlin sind Stadt und Grün gemeinsam gewachsen. Die urbane Stadt zeichnet sich durch eine Dichte mit Augenmaß aus – das Wachstum nach innen und die Aktivierung von Flächen haben Freiraum erhalten. Berlin ist grün und hat großzügige Räume für Freizeit und Erholung, Begegnung und Bewegung. Berlin hat im Jahr 2030 große Fortschritte auf dem Weg zur klimaneutralen Metropole 2050 gemacht [...] Die Metropole und ihre Menschen schonen Umwelt, Klima und Ressourcen. Berlin ist eine Stadt mit kurzen Wegen und ständig in Bewegung.“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015)

Der **Stadtentwicklungsplan Wohnen 2030** beinhaltet die „Agenda für die räumlichen Aspekte des Wohnens wie Wohnflächenbedarfe und -potenziale, Neubau-, Bestands- und Quartiersentwicklung und Flächenvorsorge“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, 2017b). Ziel ist die Sicherstellung von ausreichend Wohnraum für die wachsende Bevölkerung Berlins entsprechend einer „sozial gerechten, innovativen und umweltverträglichen Stadtentwicklung“ (ebd.). Im Sinne der *doppelten Innenentwicklung* beinhaltet der Stadtentwicklungsplan Wohnen 2030 die Leitlinie einer lebenswerten *kompakten Stadt* mit einer qualitätsvollen Erhöhung der Dichte, lebenswerten öffentlichen Räumen, nachhaltiger Mobilität und kurzen Wegen (ebd.). Andererseits wird in einem weiteren Leitziel die ökologische und klimagerechte Gestaltung der Stadt formuliert und damit die Bedeutung von Grünflächen für das Klima und die Stadtgesellschaft betont (ebd.).

Hinsichtlich der sozialen Gerechtigkeit hat die Stadt Berlin im Jahr 2013 die **Planungsziele Erreichbarkeit**, die den Zugang zu Grünflächen sicherstellen sollen, formuliert. Wohnungsnaher Grünraum sollte pro Kopf sechs Quadratmeter ausmachen und in 500 Metern bzw. in maximal 15 Minuten erreichbar sowie mindestens 0,5 Hektar groß sein (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin, 2017). Aufgrund der vielen Grünflächen in Berlin gelingt es den meisten Bezirken mindestens sechs Quadratmeter Grünfläche pro Person bereitzustellen (Kabisch & Haase, 2014). Dabei ist jedoch zu bemerken, dass die meisten Randbezirke das Versorgungsziel mit einem pro-Kopf-Grünflächen-Wert von bis zu 35 Quadratmetern überschreiten, während die innerstädtischen Bezirke das Ziel nicht erreichen (Kabisch & Haase, 2013). In solchen innerstädtischen Gebieten liegt die Bevölkerungsdichte bei über 14.500 Einwohnern pro Quadratkilometer (ebd.). Insgesamt haben 28 Prozent der Berliner Bevölkerung keinen wohnungsnahen Zugang zu Grünflächen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2013).

Von größerer Bedeutung für die Erholung der Bevölkerung sind siedlungsnahe Grünflächen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2013). Als Planziel dafür wurde ein Ortsteilpark mit mindestens zehn Hektar Fläche und in einer Erreichbarkeit von 1.000 Metern oder ein Bezirkspark mit mindestens 50 Hektar Fläche und in einer Erreichbarkeit von 1.500 Metern festgelegt (ebd.).

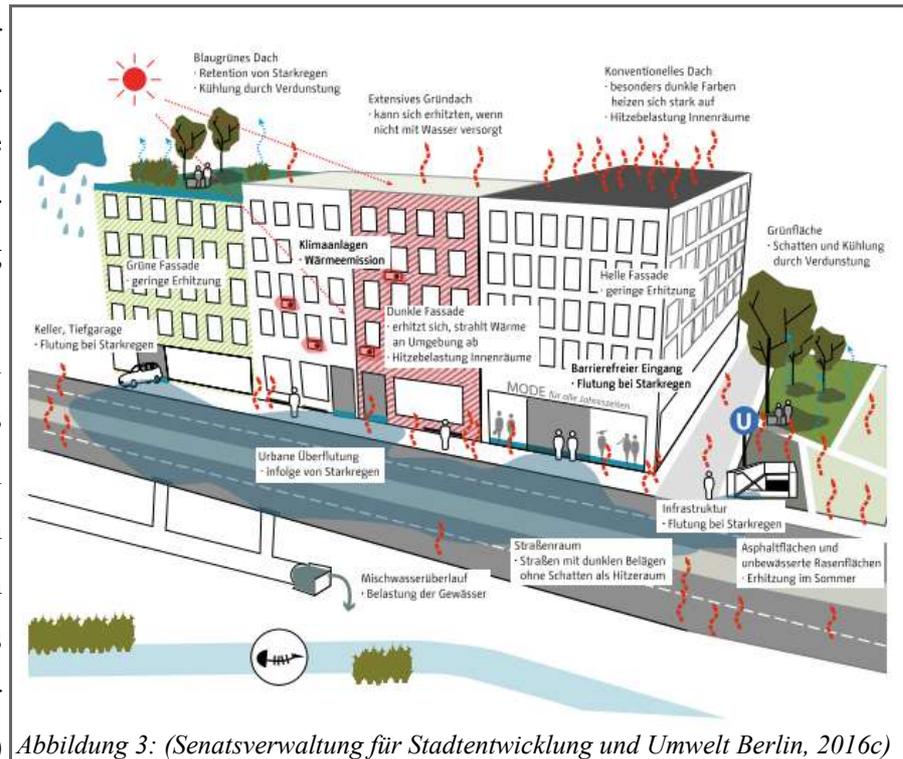


Abbildung 3: (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c)

Bereits erwähnte Strategien und weitere, wie die *Strategie zur biologischen Vielfalt* oder die *Stadtlandschaftsstrategie*, betonen die Bedeutung von Grünraum in der Stadt Berlin und versuchen, einen integrierten Ansatz im Sinne der *doppelten Innenentwicklung* umzusetzen (Thierfelder & Kabisch, 2016).

### 2.6.3. Multifunktionalität

Dabei wird Multifunktionalität als Planungsprinzip bei der Entwicklung von Grünflächen in Berlin deutlich (Hansen *et al.*, 2019). Die *Stadtlandschaftsstrategie* beschreibt dies beispielsweise an den drei Zielen *schöne Stadt*, in der gartenkulturelles Erbe weiterentwickelt wird, *produktive Landschaft*, die sozial, klimatisch und ökonomisch in Form von Landwirtschaft, Kleingärten oder im Rahmen der Do-it-yourself-Bewegung durch Raumpioniere und Zwischennutzungen entsteht, und *urbane Natur* als Naturerlebnis (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2014). Ortsteil- aber vor allem Bezirksparks sollen den unterschiedlichen Bedürfnissen der Bevölkerung sowie Freizeitmöglichkeiten gerecht werden (Hansen *et al.*, 2019). Insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten erfuhr Berlin damit eine positive Entwicklung in der städtischen Grünflächenplanung (Kabisch, 2015).

Ein Beispiel für die Umsetzung von Multifunktionalität bei der Grünflächengestaltung ist das *Tempelhofer Feld*, das aufgrund seiner Größe von 300 Hektar und seiner Geschichte als Grünfläche in Europa einzigartig ist (Thierfelder & Kabisch, 2016). Das *Tempelhofer Feld* befindet sich nur fünf Kilometer südlich der Berliner Innenstadt, ist mit der S-Bahn erreichbar und wurde im Mai 2010 für die öffentliche Nutzung freigegeben (Kabisch & Haase, 2013). Aufgrund seiner Größe und Lage kann das Tempelhofer Feld im Sinne der Erreichbarkeit siedlungsnahen Grünraums bzw. in einer Entfernung von maximal 1.500 Metern fünf Prozent der Stadtbevölkerung versorgen (ebd.). Das Areal umfasst weitreichende Grünflächen, umgeben von versiegelten Flächen (die ehemalige Flugstart- und -landebahn), die zum Radfahren, Windskatzen oder für andere Sportarten genutzt werden (ebd.). Zudem gibt es einzelne Flächen, die im Speziellen dem Naturschutz, zum Grillen oder für Hunde ausgewiesen sind (ebd.). Eine Bürgerinitiative und schließlich ein öffentliches Referendum konnten das Feld bis heute zu 100 Prozent als Grünraum erhalten und geplante Teilbebauungen verhindern (Thierfelder & Kabisch, 2016). Sowohl beim *Tempelhofer Flugfeld* als auch bei der Sanierung des Stadtflughafens Tegel wurden Klimaauswirkungen neuer Wohnanlagen untersucht (Kabisch, 2015).

Das Prinzip der Multifunktionalität allein wird jedoch nicht in der Lage sein, eine ausreichende Versorgung mit Grünflächen in verdichteten Städten zu gewährleisten (Hansen *et al.*, 2019). Andere Prinzipien, wie die Erhaltung wertvoller Grünflächen, die Sicherung von Grünflächenqualität und -quantität sowie die bessere Vernetzung und Zugänglichkeit zu urbanem Grün müssen damit kombiniert werden (ebd.). Dennoch kann das Konzept der *Ökosystemleistungen* ein nützliches Argument sein, den Erhalt städtischer Grünflächen zu fördern und zu kommunizieren (Kabisch, 2015).

Die Untersuchung der Grünflächenentwicklung am Beispiel Berlin ist besonders interessant, da die Stadt derzeit einen großen Anteil an Grünflächen aufweist, dieser jedoch in den nächsten Jahren aufgrund des Bevölkerungswachstums unter Druck geraten wird (ebd.). Die Umnutzung bestehender Grün- in Wohnflächen wird bereits in der Raumplanung diskutiert (ebd.). Somit wird die Herausforderung, neue Räume für Wohnbebauung zu finden und gleichzeitig ausreichend Grünfläche bereit zu stellen, in Zukunft noch mehr zunehmen und die Strategie der *doppelten Innenentwicklung* auf die Probe gestellt werden (ebd.). Um Grünflächen trotz des zu erwartenden Drucks erhalten zu können, bedarf es einer entsprechenden Planungspriorität für Entscheidungsträger\_innen (ebd.).

### 2.6.4. Berlin als Studiengebiet

Wie in Kapitel 2.6 aufgezeigt wurde, handelt es sich bei Berlin um eine Stadt, die zunehmend Tropennächte und extreme Wetter erfährt und gleichzeitig aufgrund des Bevölkerungswachstums einen angespannten Mietwohnungsmarkt aufweist. Mithilfe verschiedener Leitziele verfolgt die Stadt deswegen das Prinzip der *doppelten Innenentwicklung*, strebt *Innen- vor Außenentwicklung* sowie den Erhalt und das Schaffen von Grünflächen an. Zudem hat Berlin Planungsziele für den Zugang zu urbanem Grün formuliert: Wohnungsnaher Grünraum sollte in ca. 500 Metern erreicht werden können (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin, 2017). Aufgrund der Pla-



Abbildung 4: Verwaltungseinheiten mit Kennzeichnung der Berliner Innenstadt (Quelle: Umweltatlas Berlin, eigene Darstellung)

nungsziele und der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* wurde Berlin in dieser Arbeit als Studiengebiet gewählt.

Berlin umfasst heute 12 Bezirke und insgesamt 96 Stadtteile (siehe Abbildung 4).

Laut Strategie des Planwerks Innenstadt wird die Innenstadt Berlins durch den Bereich innerhalb des S-Bahnringes verzeichnet (siehe Abbildung 4) (Hofmann *et al.*, 2010). Die Bevölkerungsdichte bezogen auf die Gesamtstadt liegt aufgrund der großen Fläche des Stadtgebiets mit 37 Einwohner\_innen pro Hektar im mittleren Bereich im Vergleich zu anderen Großstädten (siehe Abbildung 5) (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016a). Wird jedoch die Bevölkerungsdichte der Innenstadt betrachtet, ist diese mit 111,5 Einwohner\_innen pro Hektar überdurchschnittlich hoch (ebd.). Am deutlichsten zeigt sich dies am innerstädtischen Bezirk Mitte, der flächenmäßig zwar nur der zweitkleinste, hinsichtlich der Einwohnerzahl jedoch der zweitgrößte Bezirk Berlins ist (Böhm *et al.*, 2016). Die durchschnittliche Einwohnerdichte im Bezirk Mitte erreicht

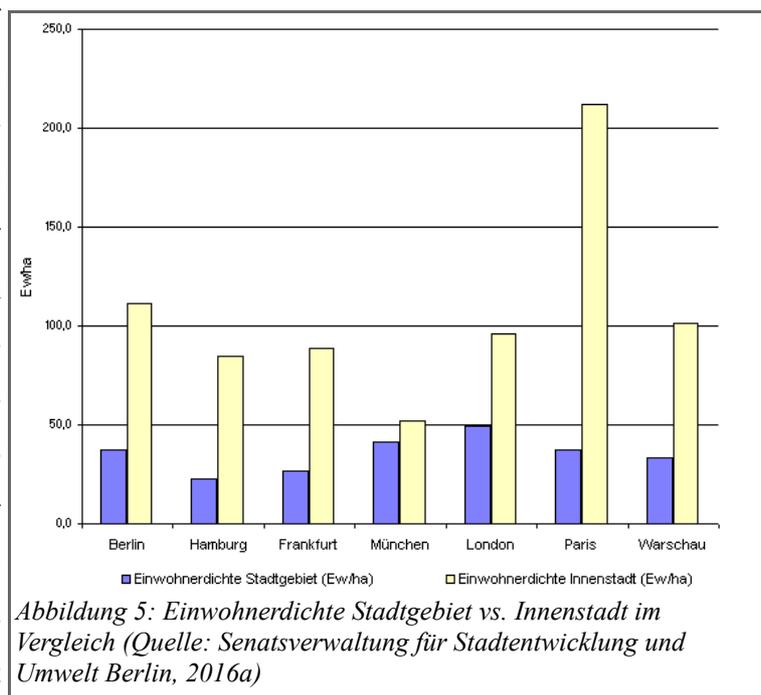


Abbildung 5: Einwohnerdichte Stadtgebiet vs. Innenstadt im Vergleich (Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016a)

sogar das Doppelte der Einwohnerdichte in der Gesamtstadt (ebd.). Die hohe Bevölkerungsdichte in der Innenstadt spiegelt sich auch darin wider, dass im Vergleich zu den meisten Randbezirken das Grünflächenversorgungsziel hier nicht erreicht werden kann (Kabisch & Haase, 2013).

Als Studiengebiet für diese Arbeit bietet Berlin aufgrund seiner Fläche ein verhältnismäßig großes Studiengebiet, das die Untersuchung mit verschiedenen Zonen ermöglicht. Durch die unterschiedlichen Merkmale der Berliner Innenstadt im Vergleich zur äußeren Stadt, wie die dichtere Bebauung und höhere Bevölkerungsdichte, kann die Strategie der *doppelten Innenentwicklung* besonders gut untersucht und entsprechende Vergleiche gezogen werden.

### 3. Methodik

#### 3.1. Basiskonzept: Urban Metrics

Der landschaftsökologische Forschungsansatz der *Landscape Metrics* ermöglicht die Identifizierung räumlicher Strukturen und Muster der Landschaft (Dugord *et al.*, 2014). Dabei wird die Landschaft in Einheiten mit ähnlicher Charakteristik, wie Landnutzung oder Lebensraumtyp, eingeteilt, wodurch ein Landschaftsmosaik entsteht (Prastacos *et al.*, 2017). Dieses ermöglicht nicht nur die Beschreibung von Häufung und Verteilung ähnlicher Einheiten im Raum, sondern auch die Analyse zeitlicher Veränderungen und Entwicklungen der Landschaft (Lang & Blaschke, 2007). Der in den 1980er und 1990er Jahren entwickelte Ansatz hat in den vergangenen 15 Jahren durch die zunehmende Verfügbarkeit von Geodaten und unter Anwendung von Geoinformationssystemen (GIS) nicht nur großes Interesse in der Landschaftsanalyse und -planung, sondern auch in der Analyse städtischer Räume erfahren (ebd.).

Die daraus hervorgegangenen *Urban Metrics* sind Indikatoren, die sich auf räumlich-urbane Charakteristika beziehen und Veränderungs- bzw. Wachstumsprozesse von Stadtgefügen hervorheben (Prastacos *et al.*, 2017). Sie ermöglichen es, die Morphologie von Städten durch Analyse der Häufung, Größe, Form und räumlichen Anordnung von städtischen Landnutzungen zu bestimmen (Vanderhaegen & Canters, 2017). Dabei werden *Urban Metrics* meist auf Blockebene angewandt und die Ergebnisse mit entsprechenden Messgrößen verglichen (Deilmann *et al.*, 2017).

Diese Arbeit möchte sich des Ansatzes der *Urban Metrics* bedienen, die Analyse jedoch auf zonaler Ebene durchführen. Es wird erwartet, dadurch Veränderungen in der Stadtstruktur, durch Versiegelung und das Schaffen von Grünflächen, deutlich sichtbar machen zu können. Der Ansatz wird dabei auf Versiegelungsgrade von Flächennutzungen angewandt, da diese geeignete Indikatoren sind, um die parallele Entwicklung von Grünflächen und stark versiegelten Flächen betrachten zu können (Dugord *et al.*, 2014). GIS-Analysen ermöglichen dabei nicht nur die Untersuchung der Verteilung verschiedener Versiegelungsgrade im Raum, sondern auch einen Vergleich zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dementsprechend sollen die Ergebnisse nicht mit Messgrößen verglichen, sondern durch die Veränderungen im Zeitverlauf bewertet werden.

Mit dieser Methode wird es möglich, die Entwicklung von sehr versiegelten und wenig versiegelten Flächen integrativ betrachten, darstellen und analysieren zu können.

### 3.2. Hypothesen

Diese Arbeit untersucht, inwiefern sich Berlin aufgrund der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* bzw. durch Ver- und Entsiegelung zwischen 2001 und 2016 verändert hat. Im Rahmen der Strategiepläne der Stadt Berlin ist von einem hohen Bewusstsein für das städtische Klima und die Gesundheit der Stadtbewohner\_innen auszugehen. Dem ökonomischen und sozialen Druck entsprechend strebt die Strategie der *doppelten Innenentwicklung* Nachverdichtung in der Innenstadt bei paralleler Entwicklung von Grünflächen für eine hohe Lebensqualität der Stadtbewohner\_innen an. Die *doppelte Innenentwicklung* führt durch die Nachverdichtung auch zu verstärkter Versiegelung, versucht diese und die Erschließung neuen Baulands jedoch gering zu halten. Gleichzeitig kann die Strategie durch das Schaffen von Grünflächen in dicht besiedelten Gebieten auch Entsiegelung hervorbringen. Eine erfolgreiche *doppelte Innenentwicklung* in der Innenstadt ist somit von tendenziell zunehmender Versiegelung, entsprechend der Leitlinie *Innnen- vor Außenentwicklung*, bei gleichzeitiger Entsiegelung geprägt.

**Hypothese 1:** *Die Innenstadt Berlins hat zwischen 2001 und 2016 eine Abnahme sehr versiegelter Flächen erfahren, verzeichnet jedoch grundsätzlich eine Zunahme an Versiegelung.*

Da die Innenstadt Berlins bereits dicht bebaut ist und Grünflächen auch im Innenstadtbereich erhalten werden sollen, ist Nachverdichtung dort nur begrenzt möglich. Deswegen kommt es zur zunehmenden Versiegelung in unmittelbarer Nähe zur Innenstadt. Dies gilt dennoch als Strategie der *Innen- vor Außenentwicklung*, da die Nähe zur Innenstadt gegeben ist und innerstädtische Infrastrukturen bereits vorhanden sind. Im Sinne der *doppelten Innenentwicklung* ist es jedoch von Bedeutung, dass in diesen Gebieten Grünflächen auch bestehen bleiben.

**Hypothese 2:** *Außerhalb des Berliner Rings, aber der Innenstadt nahegelegene Räume verzeichnen eine deutliche Zunahme an stärker versiegelten Flächen. Klar definierte Grünflächen bleiben erhalten.*

Zunehmende Versiegelung in den Berliner Randbezirken bedeutet hingegen die Erschließung neuen Baulands und starken Flächenverbrauch. Bei erfolgreicher Strategie der *doppelten Innenentwicklung* sollten Berliner Randbezirke somit keine starke Versiegelung erfahren.

**Hypothese 3:** *Berliner Randbezirke sind nur von minimaler Zunahme an Versiegelung in diesem Zeitraum betroffen.*

### 3.3. Daten

Datengrundlage bilden die als openData zugänglichen Versiegelungsdatensätze des *Umweltatlas Berlin* der Jahre 2001, 2005, 2011 und 2016. Die Daten beinhalten die verschiedenen Flächennutzungen der Stadt sowie den Versiegelungsgrad für jede dieser Flächen.

Die Ausgabe der Versiegelungsdaten wurden während des Untersuchungszeitraums 2001 bis 2016 geändert (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, 2017a). Dies ergibt eine gute Vergleichbarkeit der Daten 2005 bis 2016; der Datensatz von 2001 muss bei Vergleichen besondere Berücksichtigung finden (siehe 3.4.4. Limitationen) (ebd.).

Die Versiegelungsdatensätze entstehen aus den Flächennutzungsdaten auf Blockebene des *Informationssystems Stadt und Umwelt*, dem *Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem* ALKIS, Versiegelungsdaten der *Berliner Wasserbetriebe* und Daten des Sentinel-2A u.A. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, 2017a). In den letzten Jahren wurden außerdem weitere Gebäudedaten mit aufgenommen, dadurch ändert sich der Anteil der bebaut versiegelten Flächen teilweise auch für in der Realität unveränderte Blöcke (ebd.).

Das System zur Erfassung der Versiegelungsdaten der Stadt Berlin wird somit laufend verbessert, was teilweise Komplikationen bezüglich der Vergleichbarkeit der einzelnen Datensätze mit sich bringt. Die Kategorisierung der Versiegelungsgrade, der Vergleich auf zonaler Ebene statt auf Blockebene sowie der Vergleich relationaler Anteile pro Flächen schaffen in dieser Arbeit dennoch valide Ergebnisse (siehe 3.4.4. Limitationen).

Neben den Versiegelungsdatensätzen der Stadt Berlin werden außerdem statistische Layer benötigt. Die Bezirks-, Stadtteil- und Stadtgrenzelayers werden ebenfalls von der Stadt Berlin zur Verfügung gestellt. Die statistischen Layer der Hexagone und Pies werden hingegen mithilfe der Toolbox *ZonalMetrics* hergestellt.

## 3.4. Lösungsansatz

### 3.4.1. Kategorisierung und räumliche Einheiten

Der *Urban Atlas* des *EU Copernicus Programms* bietet Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten der Jahre 2006 und 2012 für europäische Städte (Steinborn, 2012). Die Daten umfassen ca. 20 verschiedene Landnutzungsklassen, darunter auch die Klasse *Urban Fabric*, d.h. bebaute Flächen und damit verbundene Flächen, wie Parks oder nicht bepflanzte öffentliche Flächen (European Union, 2012). Die fünf *Urban Fabric* Klassen unterscheiden sich dabei nach Bodenversiegelungsgraden (ebd.).

Diese Arbeit nutzt für ihre Untersuchung nicht die Daten des *Urban Atlas*, da die Stadt Berlin Datensätze mit Landnutzungsklassen und Versiegelungsgraden mehrerer Zeiträume selbst zur Verfügung stellt (siehe 3.3. Daten). Zudem wird in den *Urban Atlas* Daten nicht der Versiegelungsgrad aller Landnutzungsklassen bestimmt im Vergleich zu den Landnutzungsdaten Berlins. Die eigenständige Klassifizierung der Versiegelungsgrade soll jedoch nach der qualitätsvollen Kategorisierung entsprechend der fünf *Urban Fabric* Klassen des *Urban Atlas* erfolgen (European Union, 2012). Die Benennung der Kategorien erfolgt selbständig mit dem Anspruch die Charakteristik der Klasse zu beschreiben:

**(V1) Kaum versiegelte Flächen mit vorhandenen Grünflächen (Versiegelungsgrad 0–10%):**

Hierbei handelt es sich um Flächen, die Anteile von Wohngebäuden, Straßen und anderen künstlich befestigten Bereichen umfassen können, der Anteil an Vegetationsflächen ist jedoch sehr hoch. Der durchschnittliche Versiegelungsgrad beträgt 0 bis 10 Prozent. *Urban Atlas* nennt exklusive Wohngebiete mit großen Gärten als Beispiel für kaum versiegelte Flächen mit vorhandenen Grünflächen (European Union, 2012).

**(V2) Wenig versiegelte Flächen mit vorhandenen Grünflächen (Versiegelungsgrad 11–30%):**

Die Kategorie wenig versiegelter Flächen mit vorhandenen Grünflächen definiert sich ähnlich wie kaum versiegelte Flächen mit vorhandenen Grünflächen. Der durchschnittliche Bodenversiegelungsgrad umfasst jedoch 11 bis 31 Prozent und somit wird die Kate-

gorie durch einen geringeren Anteil von Vegetationsflächen bestimmt (European Union, 2012).

**(V3) Versiegelte Flächen mit vorhandenen Grünflächen (Versiegelungsgrad 31–50%):**

Hierbei handelt es sich ebenso um Wohngebäude, Straßen und andere künstlich befestigte Bereiche mit einem noch geringeren Anteil an Vegetationsflächen. Der durchschnittliche Grad der Bodenversiegelung beträgt 31 bis 50 Prozent (European Union, 2012).

**(V4) Überwiegend versiegelte Flächen (Versiegelungsgrad 51–80%):**

Der durchschnittliche Versiegelungsgrad dieser Klasse beträgt 51 bis 80 Prozent und umfasst somit mindestens 20 Prozent nicht versiegelte Flächen, wie private Gärten. Zu den überwiegend versiegelten Flächen bzw. zum diskontinuierlich dichten städtischen Gewebe gehören vor allem Wohngebäude, Straßen und andere künstlich befestigte Bereiche (European Union, 2012).

**(V5) Sehr versiegelte Flächen (Versiegelungsgrad 81–100%):**

Diese Kategorie beschreibt kontinuierliches städtisches Gewebe mit einem durchschnittlichen Versiegelungsgrad von mehr als 80 Prozent. Darunter fallen vor allem Gebäude, Straßen und versiegelte Flächen. Sehr versiegelte Flächen befinden sich meistens in Innenstädten oder Geschäftsvierteln und umfassen zu einem Großteil Wohnnutzungen (European Union, 2012).

In der kartografischen Darstellung wird bei allen Kategorien mit einem Versiegelungsgrad kleiner als 50 Prozent (V1, V2, V3) in grün ein hoher Anteil bzw. in grau ein niedriger Anteil der jeweiligen Kategorie gekennzeichnet. Bei den Kategorien mit einem höheren Versiegelungsgrad (V4, V5) wird hingegen in grau ein hoher Anteil bzw. in grün ein niedriger Anteil entsprechender Kategorie dargestellt. Dies ergibt eine intuitive Zuordnung von grau = hoher Anteil an Versiegelung und grün = Grünflächen bzw. niedriger Anteil an Versiegelung.

Mithilfe von GIS-Analysen kann räumlich-statistisch ermittelt werden, wie sich der Anteil von stark versiegelten Flächen im Verhältnis zu Grünflächen auf globaler Stadtebene verändert hat. Mithilfe unterschiedlicher zonaler Einteilungen der Stadt Berlin soll versucht werden, mehr qualitative Aussagen über kleinräumige Veränderungen treffen zu können.

Die zonale Flächeneinteilung in **Hexagone** hat den Vorteil, dass ein bestimmter Punkt innerhalb eines Hexagons näher an der Mitte dieser Zone liegt als ein bestimmter Punkt in beispielsweise einem Quadrat, das häufig als Form für ein Gitter in GIS-Analysen verwendet wird (Adamczyk & Tiede, 2017). Die Größe der Hexagone richtet sich nach dem Planungsziel der Stadt Berlin, dass jede\_r Bürger\_in innerhalb von 500 Metern eine Grünfläche erreichen können soll (Kabisch & Haase, 2013). Unter der Annahme, ein bestimmter Punkt entspräche einer Person am Wohnort, sollte diese innerhalb eines Radius von 500 Metern eine Grünfläche erreichen können. Die Hexagone werden, sozusagen als Puffer um den Wohnort als Zentrum des Hexagons, mit einem Durchmesser von 1.000 Metern bestimmt. Dies ermöglicht die Ableitung, dass ein Hexagon mit einem hohen Anteil sehr versiegelter Flächen wenige Grünflächen aufweist und damit nicht das Planungsziel der Erreichbarkeit erfüllt. Damit sind die Hexagone klein genug, um eine gültige Aussage über die Versiegelungsgrade und deren Veränderung innerhalb einer Zone treffen zu können. Gleichzeitig ermöglichen Hexagone mit einem Durchmesser von 1.000 Metern große Parks mit mehr als einem Hektar Fläche, wie den *Tiergarten* oder das *Tempelhofer Feld*, anhand der Charakterisierung nach Versiegelungsgraden deutlich verorten zu können.

In einem ersten Schritt sollen die Versiegelungsdatensätze mit einem Raster aus Hexagonen mit einem Durchmesser von 1.000 Metern analysiert werden. Hierbei wird sich auch erhofft, deutliche Aussagen über die Entwicklung der Hexagone in der Innenstadt im Vergleich zur äußeren Stadt treffen zu können.

Eine weitere gleichmäßig zonale Einteilung wird mithilfe von **Pies** stattfinden. Diese ähneln „Kuchenstücken“, die sich im Zentrum der Stadt treffen. Die Einteilung in 16 Pies ist wesentlich gröber als jene in Hexagone und lässt keine Aussage über die Entwicklung der innenstädtischen Bereiche im Vergleich zur äußeren Stadt zu. Mit der Zerteilung der Stadtfläche in „Kuchenstücke“ wird jedoch versucht, die Entwicklung in den verschiedenen geografischen Bereichen mehr zu verdeutlichen und die Veränderung der Stadtstruktur hinsichtlich der Himmelsrichtungen, im Vergleich zu „von-innen-nach-außen“, sichtbar zu machen.

Die Einteilung in gleichmäßige Zonen ermöglicht durch die gleiche Fläche und den gleichen Umfang den unmittelbaren Vergleich der Zonen miteinander und lässt dadurch Muster in der Landschaft häufig besser erkennen (Adamczyk & Tiede, 2017). Verwaltungseinheiten bedeuten eine ungleichmäßige Zergliederung und lassen keinen unmittelbaren Vergleich zu, sind aber hinsichtlich lokaler Planungen und Politikberatung bedeutende Einheiten und können deswegen gewichtige Aussagen ermöglichen (ebd.).

Somit soll eine weitere Zergliederung bzw. Untersuchung der Entwicklung der Versiegelungsgrade nach den Berliner **Bezirken** vorgenommen werden. Trotz der relativ groben Einteilung kann hierbei eine Aussage über die unterschiedliche Entwicklung innerstädtischer Birke und Bezirke der äußeren Stadt getroffen werden. Zudem ermöglicht die Analyse auf Bezirksebene Vergleiche mit entsprechenden Statistiken, wie den Baufertigstellungen pro Bezirk.

Eine kleinräumigere Verwaltungseinheit ist jene der **Stadtteile**. Aufgrund der polyzentralen Struktur Berlins kommt den Stadtteilen eine bedeutende Rolle zu, die eine *Stadt der kurzen Wege* ermöglichen kann. Die Kiezstrukturen ermöglichen vollständige Infrastrukturen auf kleinräumiger Ebene trotz der großen Gesamtstadtfläche (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2015). Die Untersuchung der Stadtteile soll vor dem Hintergrund der Entwicklung im gesamten Bezirk erfolgen.

Mithilfe dieser vier verschiedenen Einteilungen soll ein möglichst differenziertes Bild der Entwicklungen von sehr versiegelten und kaum versiegelten Flächen erzielt werden. Es könnte voreilig schlussgefolgert werden, dass großräumige Einteilungen in der Analyse überflüssig sind, da sie weniger aussagekräftig sind als kleinräumige Zonen. Neben der statistischen Ermittlung können Veränderungen der Versiegelung mithilfe von GIS jedoch auch grafisch dargestellt werden. Einteilungen auf großräumiger Ebene ermöglichen hierbei einen schnelleren Überblick, wo welche Entwicklungen in der Stadt stattgefunden haben und können damit die Grundlage zur Analyse auf kleinräumigerer Ebene schaffen. Die reine Bildanalyse der kartografischen Darstellungen der Ergebnisse nimmt daher einen bedeutenden Anteil in der Ergebnisinterpretation ein.

### 3.4.2. Methoden bzw. Urban Metrics

Bei den aus der Landschaftsökologie hervorgegangenen *Urban Metrics* handelt es sich um einen Methodenpool zur Analyse der Landschaft nach verschiedenen Kriterien (Lang & Blaschke, 2007).

Mithilfe des **Largest-Patch-Index** (LPI) wird ermittelt, welche Kategorie innerhalb einer Zone dominiert (Adamczyk & Tiede, 2017). Dies schafft einen schnellen Überblick über die Versiegelung einzelner Zonen und es wird erhofft, dank dieser Methode Parks und sehr stark versiegelte Bereiche in der Stadt schnell ermitteln zu können. Je großräumiger jedoch die zonale Einteilung, desto weniger aussagekräftig ist das Ergebnis des *Largest-Patch-Index*, da er in diesem Fall kein differenziertes Bild darstellen kann. Indem das Ergebnis des *Largest-Patch-Index* zu den verschiedenen Zeitpunkten miteinander verglichen wird, können drastische Entwicklungen sichtbar gemacht werden.

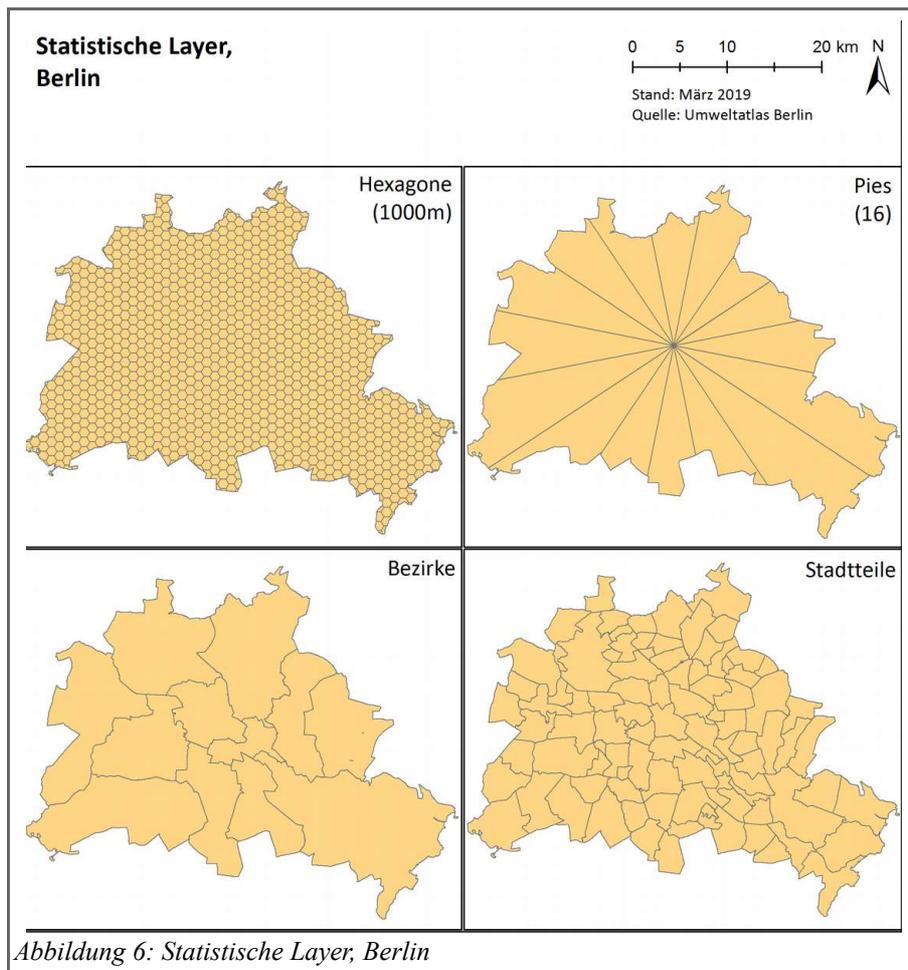
Denn wenn sich die am meisten vertretene Kategorie um einen oder sogar mehr Versiegelungsgrade ändert, bedeutet dies nicht nur eine geringe Zu- oder Abnahme, sondern eine substantielle Veränderung der Bodenstruktur.

Mithilfe von differenzierteren **Area Metrics** kann der Anteil bestimmter Klassen innerhalb einer statistischen Zone ermittelt werden. Ergebnis davon können sowohl die Anzahl von Flächen derselben Klasse als auch der prozentuale Anteil einer Klasse an der Gesamtfläche einer Zone sein (Adamczyk & Tiede, 2017). Da für diese Arbeit der Flächenanteil einer bestimmten Versiegelungskategorie und nicht die Häufigkeit des Vorkommens dieser von besonderem Wert ist, ist zweitgenanntes ausschlaggebend: Für jede Versiegelungskategorie (V1–V5) wird der Anteil pro Zone (Hexagon, Pie, Bezirk, Stadtteil) berechnet. In einem nächsten Schritt werden die Anteile bestimmter Kategorien im Zeitverlauf verglichen und damit entsprechende Entwicklungen ermittelt.

Nachdem neben der dominanten Kategorie innerhalb einer Zone auch die verschiedenen Flächenanteile aller Kategorien pro Zone ermittelt worden sind, soll mithilfe des **Shannon-Diversity-Indexes** (SHDI) auch der Grad der Diversität verschiedener Versiegelungstypen berechnet werden (Adamczyk & Tiede, 2017). Im Sinne der *doppelten Innenentwicklung*, also der parallelen Entwicklung von Grünflächen und der vorrangigen Bautätigkeit im Innenbereich, ist eine Zone mit höherem *Shannon-Diversity-Index*, d.h. größerer Vielfalt versiegelter und kaum versiegelter Flächen, besser zu bewerten. Auch diese Methode ist vor allem auf kleinräumigeren Ebenen einsetzbar und erreicht weniger aussagekräftige Ergebnisse bei großräumigeren Zonen, da hier die Wahrscheinlichkeit, dass Flächen verschiedener Versiegelungsgrade vorkommen, aufgrund der Größe der Zone höher ist. Insbesondere die Veränderung des *Shannon-Diversity-Indexes* über die Jahre hinweg kann ein sehr aussagekräftiges Ergebnis liefern: Nimmt der Index in einer Zone deutlich ab, lässt dies innerhalb der Zone weniger die Umsetzung der *doppelten Innenentwicklung* als beispielsweise starke Versiegelung annehmen. Genauso kann ein erhöhter *Shannon-Diversity-Index* als ein Anzeichen für eine erfolgreiche *doppelte Innenentwicklung* gewertet werden.

### 3.4.3. Tool-Einsatz

Sowohl die Zonengenerierung als auch die Analysen auf zonaler Ebene erfolgen mithilfe der Pythontoolbox *ZonalMetrics*. Dabei handelt es sich um eine open-source-Toolbox, welche der GIS-Software *ArcGIS* hinzugefügt werden kann. Dementsprechend sollen in dieser Arbeit alle GIS-Analysen und kartographischen Darstellungen mithilfe von *ArcMap 10.4.1* erfolgen.



Die statistischen Layer gründen sich einerseits aus von der Stadt Berlin als openData und WFS zur Verfügung gestellten Bezirks-, Stadtteil- und Stadtgrenzelayern (siehe Abbildung 6, unten). Andererseits werden aus dem Stadtgrenzelayern mithilfe der Zonengenerierung der ZonalMetrics-Toolbox die Layer mit der zonalen Einteilung nach Hexagonen (1.000 Meter Durchmesser) und Pies (16) generiert (siehe Abbildung 6, oben). Bei der Entwicklung der Pies wird darauf geachtet, dass der Mittelpunkt in der Berliner Innenstadt bzw. im Bezirk Berlin-Mitte liegt.

Die ebenso als openData verfügbaren Versiegelungsdatensätze (2001, 2005, 2011, 2016) des Umweltatlas Berlin beinhalten, aufgrund ständiger Verbesserung der Datengenerierung, unterschiedlich viele und verschieden große „Lücken“. Für die Weiterbearbeitung mit der ZonalMetrics-Toolbox werden „Lücken“ geschlossen und erhalten dabei den Wert *NULL* (siehe Abbildung 7).

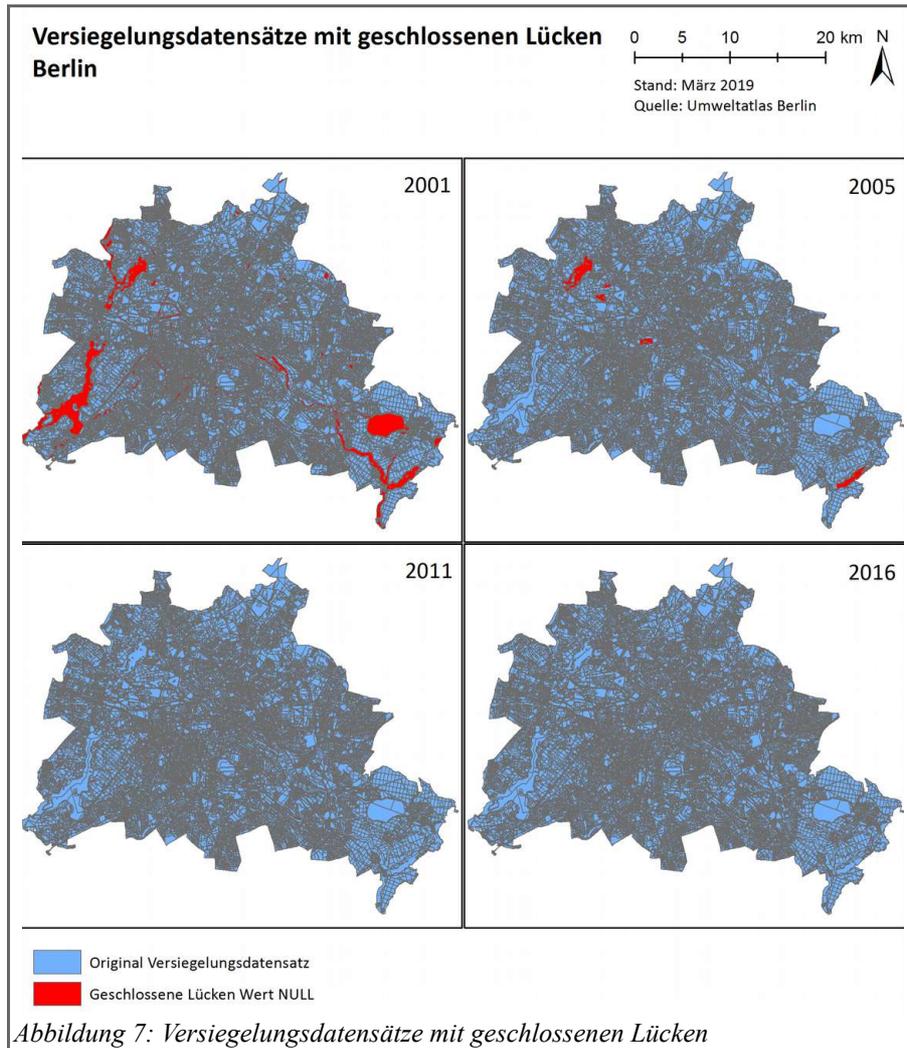


Abbildung 7: Versiegelungsdatensätze mit geschlossenen Lücken

Anschließend werden bei allen vier Versiegelungsdatensätzen die Versiegelungsgrade nach den fünf Kategorien des *Urban Atlas* kategorisiert (siehe 3.4.1 Kategorisierung und räumliche Einheiten).

Technische Details zur Datenaufbereitung sind dem Anhang zu entnehmen. Der Ablauf der Datenaufbereitung wird aus folgender Modell-Grafik noch einmal ersichtlich:

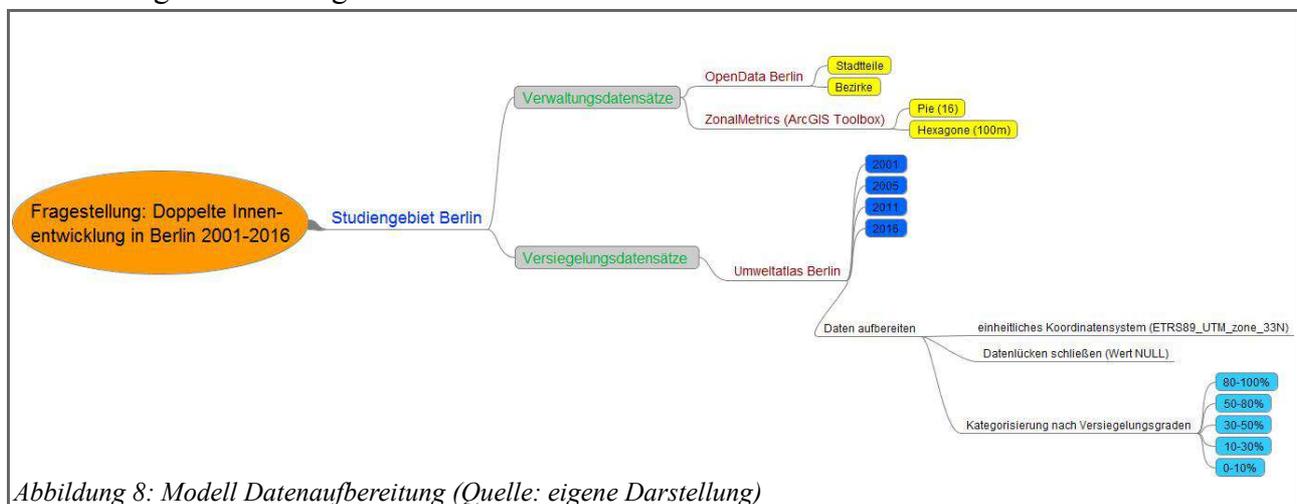


Abbildung 8: Modell Datenaufbereitung (Quelle: eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die Abläufe der *Urban Metrics* Berechnungen mithilfe der *ZonalMetrics*-Toolbox erläutert. Für alle Berechnungen mit der Pythontoolbox benötigt es stets einen *Input Layer*, in diesem Fall einen der Versiegelungsdatensätze, und einen *statistischen Layer*: Hexagone, Pies, Bezirke oder Stadtteile. Zudem muss ein *Classfield* angegeben werden. Das *Classfield* entspricht in diesem Fall der Kategorisierung der Versiegelungsgrade in die fünf verschiedenen Klassen. Klasse 0 wird dabei stets nicht mitgerechnet, da es sich dabei um die geschlossenen „Lücken“ mit dem Wert *NULL* handelt.

Die Berechnungen werden jeweils für alle Versiegelungsdatensätze (2001, 2005, 2011 und 2016) und jeweils mit allen statistischen Layern (Hexagone, Pies, Bezirke und Stadtteile) durchgeführt.

Bei der Berechnung des Largest-Patch-Index (LPI) werden die Patches der gleichen Klasse zusammengefügt, damit sich der LPI nicht aus der Klasse des größten Patches, sondern aus der am häufigsten vertretenen Klassen (unabhängig welcher Anzahl an Patches) speist. Die Patches am Rand des Untersuchungsgebiets werden auf die Ausdehnung der statistischen Zone, die sie überlappen, zugeschnitten. Dies entspricht der Standardberechnungsmethode (Adamczyk & Tiede, 2017).

Das LPI-Ergebnis zeigt sich in der Attributtabelle in zwei Spalten: Einerseits wird der prozentuale Anteil der am meisten vertretenen Klasse innerhalb einer Zone angegeben, andererseits – und dies ist für diese Arbeit von besonderem Interesse – die am häufigsten vertretene Klasse pro Zone aufgeführt.

Auch bei den Area Metrics-Berechnungen werden die Rand-Patches mit dem statistischen Layer verschnitten. Das Ergebnis beinhaltet die Anzahl der Patches der jeweiligen Klasse pro Zone, den Anteil der Gesamtfläche der Zone sowie die Flächengröße der Klasse innerhalb einer Zone. Für diese Arbeit besonders relevant ist der Anteil der Klasse an der Gesamtfläche. Demnach müsste die Summe aus *pz1*, *pz2*, *pz3*, *pz4* und *pz5* 100 Prozent ergeben. Da die Kategorie 0 weggelassen wurde, ist dies jedoch nicht immer gegeben. Wie damit umgegangen wird, wird in Kapitel 3.4.4. Limitationen genauer beschrieben.

Das Ergebnis des Shannon-Diversity-Index (SHDI) zeigt sich in einer Spalte der Attributtabelle. Dabei gilt, je höher der SHDI-Wert, desto größer ist die Diversität innerhalb einer Zone.

Aus den Berechnungen sind damit insgesamt 48 neue Datensätze entstanden. Für jeden dieser Datensätze erfolgt eine bzw. da bei den Berechnungen der Area Metrics je fünf Klassen berechnet wurden bei diesen je fünf kartografische Darstellungen. Diese beschreiben alle den jeweiligen Ist-Zustand der Versiegelungsgrade des jeweiligen Jahres (2001, 2005, 2011 oder 2016). Um Entwick-

lungen der Versiegelungsgrade sichtbar zu machen, werden deswegen die Differenzen in den jeweiligen Jahren berechnet.

Je zwei Datensätze verschiedener Zeitpunkte werden miteinander verknüpft, um die Veränderungsdatensätze zu erhalten. Die Entwicklung des LPI über die Jahre hinweg wird mit folgender Formel berechnet:

$$LPI(2005) - LPI(2001) = \text{Zu- oder Abnahme der Versiegelung}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 wiederholt)

Ein positives Ergebnis bedeutet, dass sich die am meisten vertretene Kategorie innerhalb einer Zone im jeweiligen Zeitabschnitt hin zu einer Kategorie höheren Versiegelungsgrades verändert hat. Eine Zunahme der Versiegelung innerhalb dieser Zone kann daraus abgeleitet werden. Ein negatives Ergebnis bedeutet hingegen eine Abnahme der Versiegelung, da nun eine Kategorie niedrigeren Versiegelungsgrades am meisten innerhalb der Zone vertreten ist. Das Ergebnis 0 zeigt keine Veränderung: d.h. die häufigste Kategorie innerhalb der Zone hat sich zwischen den Jahren nicht verändert.

Die Veränderung des Anteils einer Kategorie innerhalb einer Zone (Area Metrics) wird wie folgt berechnet:

$$pz1(2005) - pz1(2001) = \text{Zu- oder Abnahme des Anteils der jeweiligen Kategorie innerhalb der Zone}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 sowie jeweils für alle fünf Kategorien wiederholt)

Ein positives Ergebnis bedeutet dabei, dass der Anteil der jeweiligen Kategorie innerhalb der Zone gestiegen ist. Bei der Kategorie 1 bedeutet dies beispielsweise eine Zunahme kaum versiegelter Flächen mit Grünflächen und bei der Kategorie 5 eine Zunahme stark versiegelter Bereiche. Ein Abnehmen des Anteils der jeweiligen Kategorie innerhalb einer Zone wird aus einem negativen Ergebnis interpretiert, während 0 bedeutet, dass der Anteil gleichgeblieben ist.

Die Veränderung der Diversität (SHDI) innerhalb des Zeitabschnitts und pro Zone errechnet sich folgendermaßen:

$$shdi\_2005 - shdi\_2001 = \text{Zu- oder Abnahme der Diversität}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 wiederholt)

Hierbei bedeutet ein positives Ergebnis, dass die Diversität im jeweiligen Zeitraum zugenommen hat, während ein negatives Ergebnis eine abnehmende Diversität bedeutet.

Aus den Berechnungen der Veränderungen im Zeitverlauf sind insgesamt wiederum 48 neue Datensätze entstanden. Jeder dieser Datensätze bzw. bei den Area Metrics alle fünf Klassen pro Datensatz werden für die Auswertung kartografisch dargestellt.

Die technisch detaillierte Beschreibung der Berechnungen, sowohl der Ist-Zustände als auch der Veränderungsdatensätze, findet sich im Anhang.

Folgendes Modell zeigt noch einmal die Berechnungen von LPI, Area Metrics und SHDI mit der *ZonalMetrics*-Toolbox sowie die Berechnungen der Veränderungen in den jeweiligen Zeiträumen (siehe Abbildung 9). Aufgrund der Menge der entstandenen neuen Datensätze sowie zur einfacheren Lesbarkeit sind nur die Berechnungen des Jahres 2001 mit dem Hexagon-Layer vollständig ausgeführt (siehe Wolke). Vereinfachte Darstellungen finden sich bei den anderen Berechnungen, was jedoch keinen Unterschied an der Anzahl an Berechnungen bedeutet.

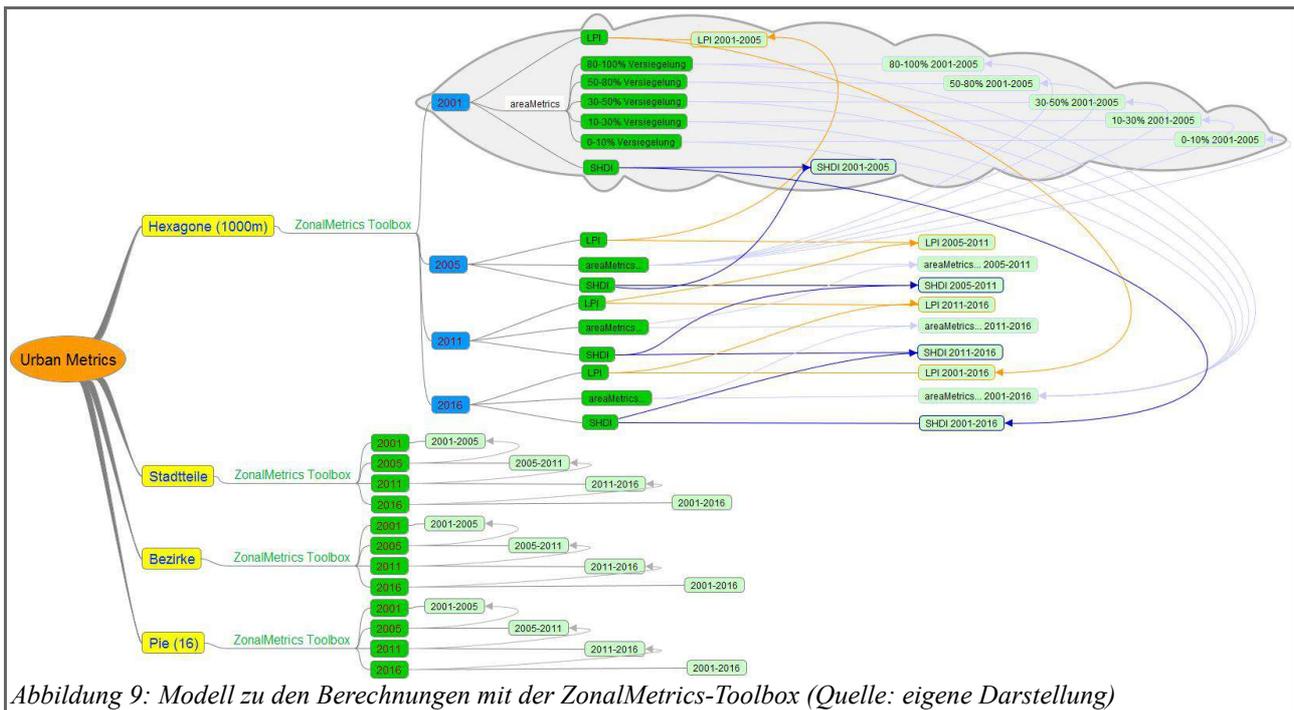


Abbildung 9: Modell zu den Berechnungen mit der *ZonalMetrics*-Toolbox (Quelle: eigene Darstellung)

### 3.4.4. Limitationen

In dieser Arbeit werden vier verschiedene Datensätze aus den Jahren 2001, 2005, 2011 und 2016 für die Analysen herangezogen. Dabei geht es nicht nur darum die Ist-Zustände in den einzelnen Jahren

darzustellen, sondern die Datensätze auch miteinander zu vergleichen um Entwicklungen sichtbar machen zu können. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung zur optimalen Berechnung und Darstellung der Versiegelungsgrade durch die Stadt Berlin sind die vier Datensätze jedoch nicht vollständig identisch und können nicht ohne Weiteres miteinander verglichen werden.

Dies wurde bereits bei Abbildung 7 ersichtlich, wo die „Lücken“ der vier Versiegelungsdatsätze erkennbar sind. Die Datensätze unterscheiden sich also in der Menge bzw. Vollständigkeit der Flächennutzungsdigitalisierungen. Zudem zeigt sich dies auch bei den Berechnungen der Area Metrics, wo die Summe der prozentualen Anteile der Kategorien pro Zone nicht immer 100 Prozent ausmacht (siehe 3.4.3 Tool-Einsatz).

In einem ersten Schritt gilt es deshalb diese „Leerzonen“ zu identifizieren. Dabei werden die Ergebnisse aus den Area Metrics-Berechnungen addiert:

$$pz1 + pz2 + pz3 + pz4 + pz5 = sumPZ$$

Das Ergebnis wird dann von den gewünschten 100 Prozent abgezogen:

$$100 - sumPZ = lz \text{ (Flächenanteil der Leerzonen pro Zone)}$$

### Bsp. Versiegelungsdatensatz 2001:

Der Versiegelungsdatensatz aus dem Jahr 2001 weist die meisten Leerzonen im Vergleich zu den anderen drei Versiegelungsdatensätzen auf. Dies äußert sich insbesondere bei den Berechnungen mit dem statistischen Hexagon-Layer.

Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, dass es einige Zonen mit mehr als 81 Prozent Leerzonen als Flächenanteil gibt und diese in Clustern auftreten. Deswegen wird die Karte mit einem Luftbild ergänzt, um die Leerzonen-Cluster in der Stadt lokalisieren zu können:

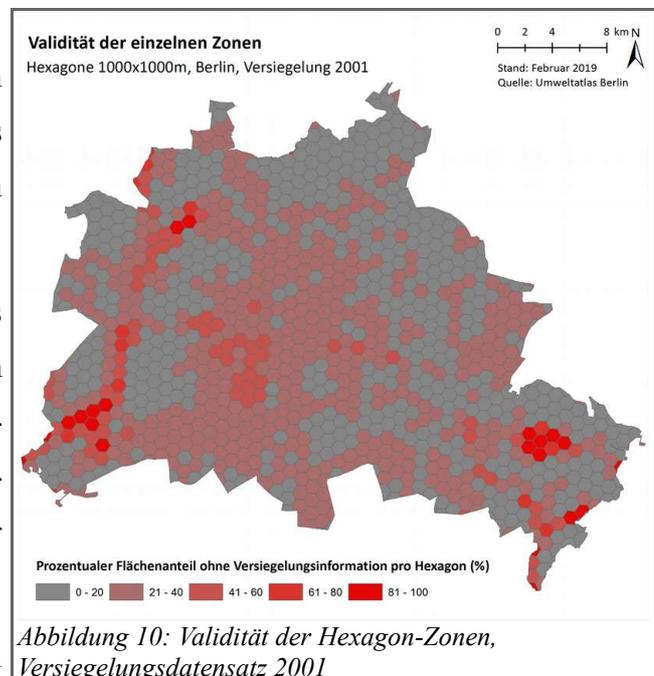


Abbildung 10: Validität der Hexagon-Zonen, Versiegelungsdatensatz 2001

Abbildung 11 macht sichtbar, dass es sich bei den Clustern mit dem höchsten Anteil an Leerzonen pro Zone um Gewässer (Großer Mügelsee, Havel, Tegeler See usw.) handelt. Ein systematisches Auftreten von Zonen mit hohem Leerzonenanteil (topografisch: Gewässer) lässt sich feststellen.

Um trotzdem ein aussagekräftiges Ergebnis aus den Berechnungen zu erzielen, wurde entschieden, Zonen mit einem hohen Anteil an Leerzonen von den Berechnungen auszuschließen. Dies betrifft alle Zonen, die  $\geq 50\%$  Leerzonen-Flächenanteil aufweisen.

Mit dem Ausschluss von Zonen mit einem Leerzonen-Anteil von  $\geq 50\%$  werden die in Abbildung 11 als rot definierten Leerzonen-Cluster ausgeschlossen (siehe Abbildung 12). Damit wird ein Ausschluss des systematischen Auftretens von Zonen mit hohem Leerzonenanteil sichergestellt, jedoch werden keine Digitalisierungsungenauigkeiten ausgeschlossen. Es bleiben also genügend Zellen erhalten, um die anstehenden Berechnungen durchführen und auch beim Versiegelungsdatensatz 2001 aussagekräftige Ergebnisse erzielen zu können.

Um diese sicherzustellen, obwohl sich noch Zonen mit Leerzonenanteilen im Datensatz befinden, werden die Ergebnisse der prozentualen Flächenanteile der jeweiligen Versiegelungskategorie als relative Anteile der Flächen mit Information (ungleich 0) pro Zone berechnet:

$$pz1 / \text{sumPZ} * 100 = \text{rel\_pz1} \text{ (relativer Anteil der Flächen mit Kategorie 1)}$$

(Dies wird für alle fünf Kategorien und bei allen Datensätzen wiederholt)

Die Berechnung relativer Anteile ermöglicht den Vergleich der Zonen des jeweiligen Datensatzes miteinander.

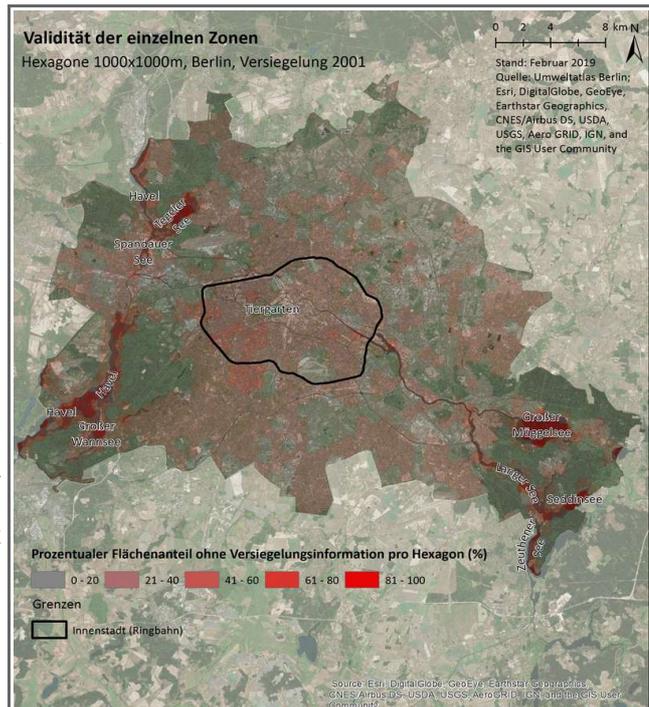


Abbildung 11: Lokalisierung der Leerzonen mithilfe des Luftbildes, Versiegelungsdatensatz 2001

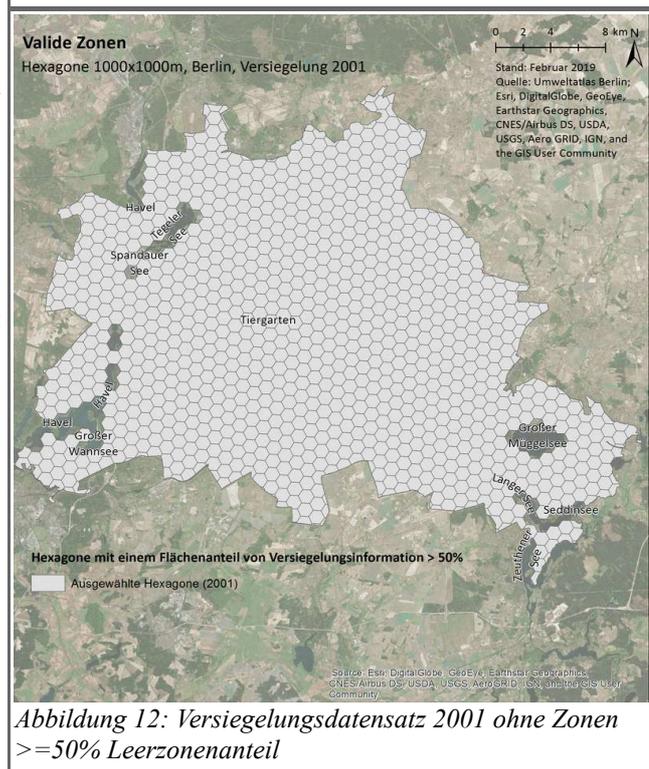


Abbildung 12: Versiegelungsdatensatz 2001 ohne Zonen  $\geq 50\%$  Leerzonenanteil

Je größer die Zonen werden, desto geringer ist der Anteil an Leerzonen pro Zone: Die Stadtteilzonen weisen einen Wert von maximal 49 Prozent Leerzonen pro Zone auf (siehe Abbildung 13), bei den Bezirken sind es maximal 33 Prozent und bei den Pies maximal 28 Prozent. Aufgrund der niedrigeren Werte und da bei diesen Zonen keine kausalen Regelmäßigkeiten der Leerzonen mehr ersichtlich sind, gibt es bei diesen Layern keinen Ausschluss von Zonen.

Dieser Test und Abgleich wird für alle vier Versiegelungsdatensätze durchgeführt (siehe Anhang), wobei bei dem Datensatz aus dem Jahr 2005 Hexagon-Leerzonencluster (Tegelersee, Tiergarten) ausgeschlossen werden (siehe Abbildung 14). Bei den Datensätzen 2011 und 2016 gibt es keine Zonen mit einem Leerzonen-Anteil von  $\geq 50\%$ , weswegen bei diesen Datensätzen alle Zonen in die Berechnungen eingeschlossen werden.

Die Analyse der Leerzonenanteile bei den einzelnen Versiegelungsdatensätzen folgt der Überlegung der Vergleichbarkeit einzelner Zonen der verschiedenen Datensätze. Dabei sollen Zonen, deren Leerzonenanteile je nach Jahrgang sehr unterschiedlich sind von den Analysen ausgeschlossen werden. Die unterschiedlichen Anteile der Leerzonen pro Zone werden wie folgt berechnet:

$$sumPZ(2005) - sumPZ(2001) = lz\_diff \text{ (Differenz Leerzonenanteile)}$$

(Dies wird für alle Zeitabschnitte, die miteinander verglichen werden, und alle Datensätze wiederholt)

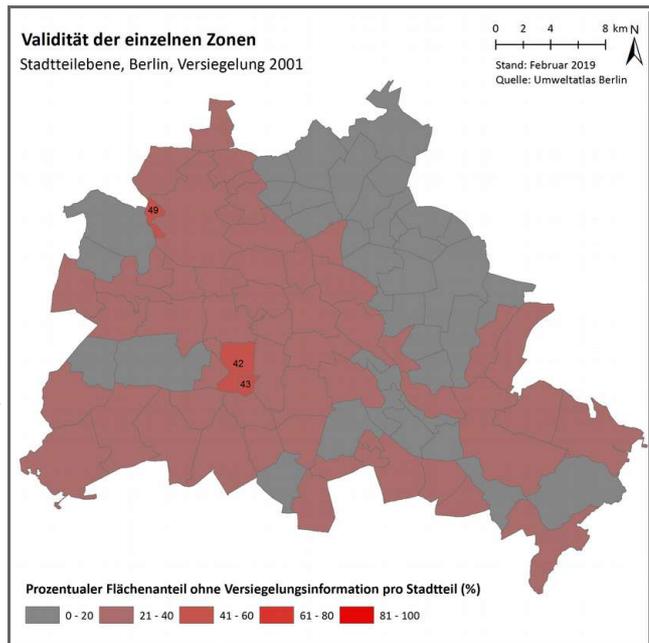


Abbildung 13: Validität der Stadtteil-Zonen, Versiegelungsdatensatz 2001

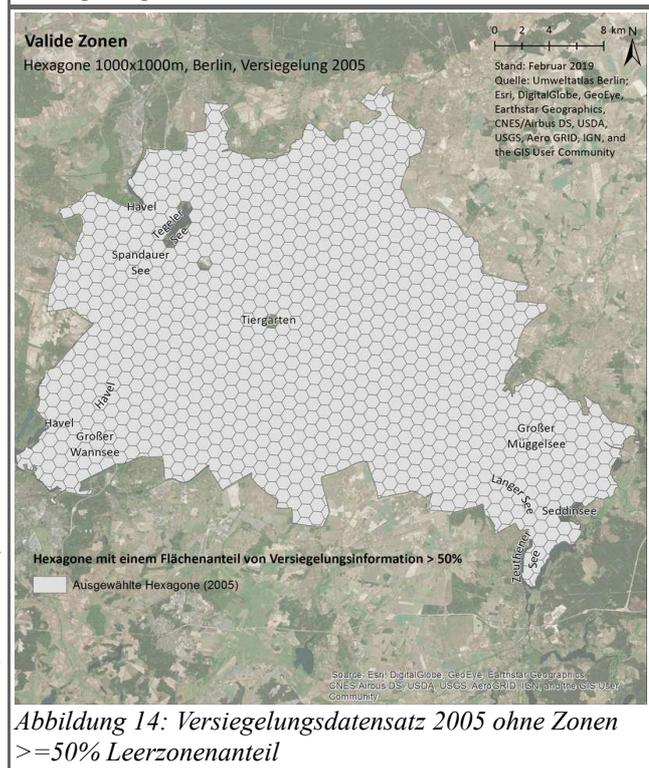


Abbildung 14: Versiegelungsdatensatz 2005 ohne Zonen  $\geq 50\%$  Leerzonenanteil

Bei der Bestimmung der Ausschlussdifferenz muss für ein aussagekräftiges Ergebnis auch hier darauf geachtet werden, dass systematische Unterschiede (z.B. durch topografische Gegebenheiten, wie Gewässer oder Parks) ausgeschlossen, zufällige (z.B. Digitalisierungsungenauigkeiten) jedoch bestehen bleiben. Mit einem Ausschluss von Zonen, die mit ihrem Leerzonenanteil mit mehr als 20 Prozent voneinander abweichen, kann dies sichergestellt werden.

Mithilfe des *Query Builders* von *ArcMap* können beide Ausschlussmechanismen für alle Datensätze zur Bestimmung von Veränderungen durchgeführt werden:

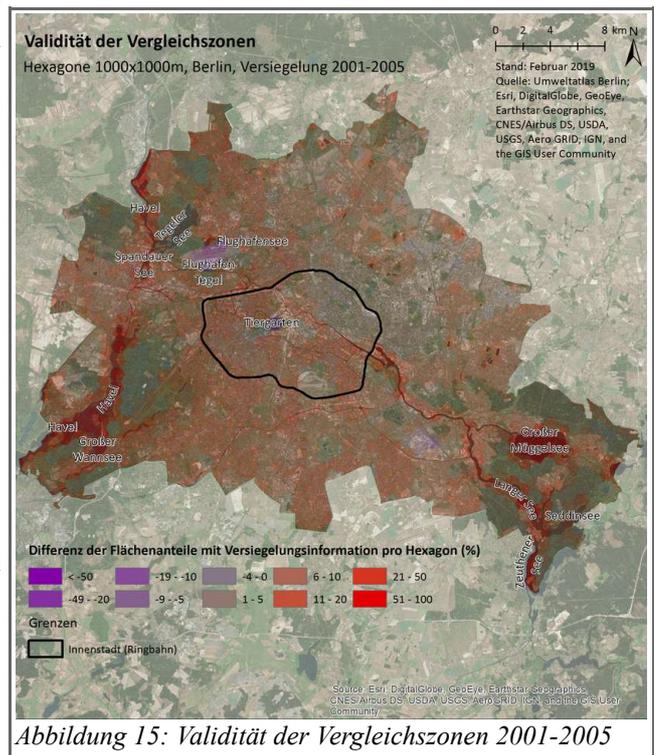


Abbildung 15: Validität der Vergleichszonen 2001-2005

$$lz\_diff < 20 \text{ AND } lz\_diff > -20 \text{ AND } sumPZ\_2001 > 50 \text{ and } sumPZ\_2005 > 50$$

(Dies wird für alle Veränderungsdatensätze bzw. Zeitabschnitte wiederholt)

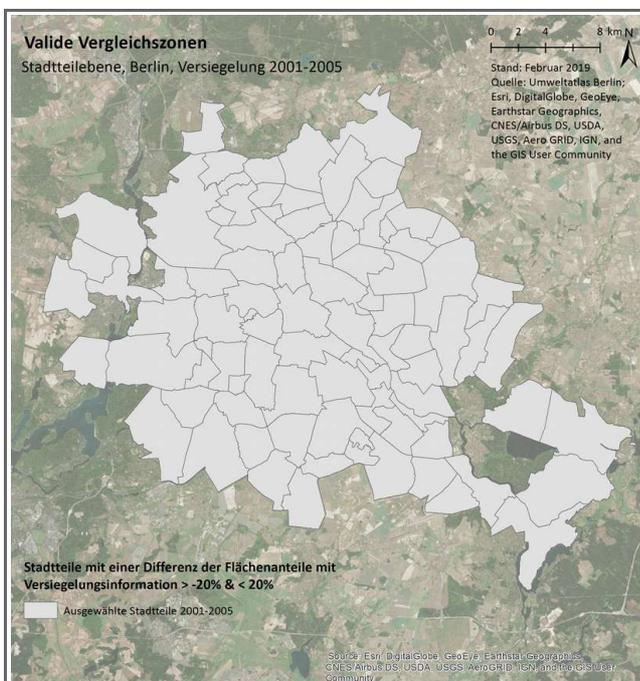


Abbildung 16: Vergleichsdatensätze (Stadtteile) 2001 und 2005 ohne Zonen  $\geq 20\%$  und  $\leq -20\%$  Leerzonenanteildifferenz

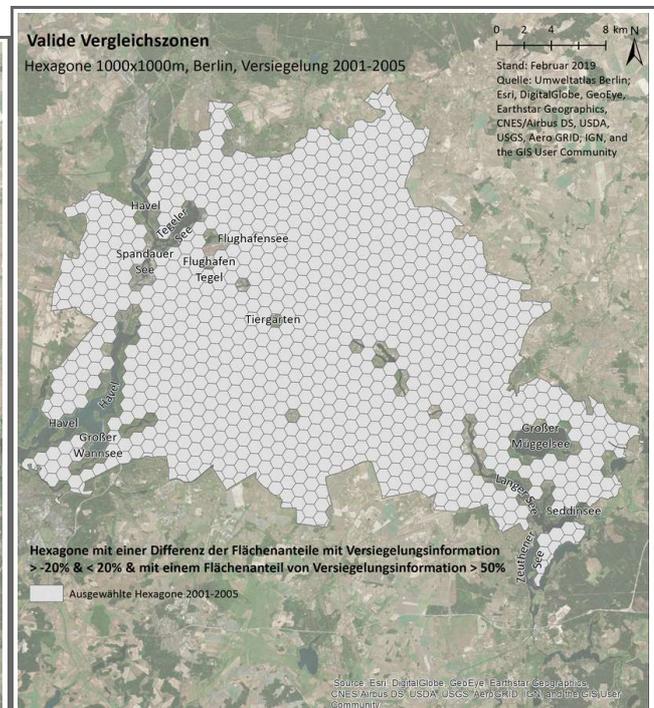


Abbildung 17: Vergleichsdatensätze (Hexagone) 2001 und 2005 ohne Zonen  $\geq 20\%$  und  $\leq -20\%$  Leerzonenanteildifferenz

Auch bei diesem Verfahren zeigt sich, dass die Differenz der Leerzonenanteile mit zunehmender Größe der Zonen sinkt. Dennoch werden bei diesem Verfahren auch Stadtteile von den Ergebnissen ausgeschlossen (siehe Abbildung 16).

Der Vergleich der Datensätze auf Blockebene würde zu umfassenden Differenzen und vermutlich zu keiner unmittelbaren Vergleichbarkeit der Datensätze miteinander führen. Durch die Zonierung der Flächen und Zusammenfassung von Flächen gleicher Versiegelungskategorien ist dies in dieser Arbeit möglich, auch wenn einige Zonen von den Analysen ausgeschlossen werden müssen.

### 3.4.5. Validierung

Die Ergebnisse aus den Berechnungen mit der *ZonalMetrics*-Toolbox sollen je nach Zonierung bzw. statistischem Layer unterschiedlich validiert werden.

- Hexagone: Die Ergebnisse aus den Berechnungen mit dem Hexagon-Layer sollen qualitativ mit in der Stadt vorhandenen Grünflächen überprüft werden. Dabei soll getestet werden, ob Zonen mit geringer Versiegelung bzw. vorhandenen Grünflächen zu Parks oder anderen Grünflächen in der Stadt, mithilfe des Stadtplans, zugeordnet werden können. Aufgrund der Größe der Hexagone mit einem Durchmesser von 1.000 Metern sollten einige Parks auf diese Weise verortet werden können.
- Pies: Die Validierung der Pies erfolgt rein aus einem Abgleich mit den Ergebnissen aus den Berechnungen mit anderen statistischen Layern. Aufgrund der ebenfalls großräumigen Ebene ist insbesondere der Bezirke-Layer interessant.
- Bezirke: Die Ergebnisse aus den Berechnungen mit dem Bezirke-Layer sollen mit der Statistik der Baufertigstellungen in den einzelnen Bezirken in den Jahren 2001 bis inklusive 2015 erfolgen (Investitionsbank Berlin, 2012 & 2017). Zudem können bestimmte Städtebauförderungsprogramme Hinweise auf Bautätigkeiten geben und dienen damit auch der Validierung auf Bezirksebene.
- Stadtteile: Die Ergebnisse aus den Berechnungen auf Stadtteilebene können mit jenen auf hexagonaler Ebene, und damit auch durch die Verortung größerer Grünflächen, sowie auf Bezirksebene abgeglichen und validiert werden.

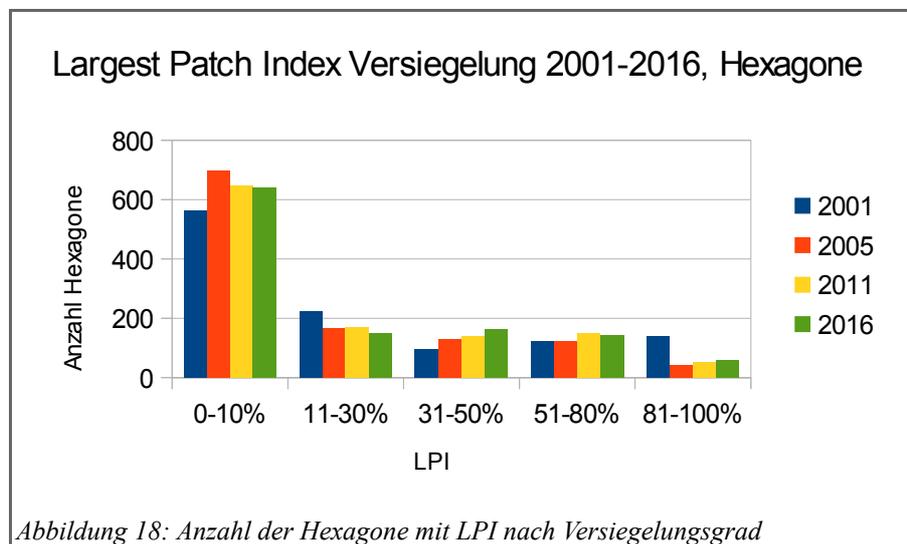
## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere der Anteil des Versiegelungsgrads mit 0–10 Prozent Versiegelung über die Zeit relativ konstant bleibt, während Versiegelungsgrad V2 deutlich abgenommen, Versiegelungsgrad V3 und V4 zugenommen und Versiegelungsgrad V5 zunächst ab-, aber auch dann zugenommen haben. Generell hat die Versiegelung in Berlin somit eher zugenommen. Wie sich die Ergebnisse der drei Methoden im Detail für die einzelnen statistischen Layer und Jahre verhalten, soll im Folgenden dargestellt und entsprechend validiert werden.

### 4.1. Ergebnisse: Largest-Patch-Index

Der Largest-Patch-Index gibt einen ersten Überblick darüber, wo die stark oder weniger stark versiegelten Flächen den höchsten Anteil einnehmen. Der Versiegelungsgrad V1 mit 0–10 Prozent Versiegelung ist bei allen statistischen Layern und über die vier Zeitpunkte hinweg der Grad, der am häufigsten den größten Anteil pro Patch einnimmt. Dies deckt sich mit dem Wissen um das Vorhandensein vieler Grün- und Blauräume in Berlin (Thierfelder & Kabisch, 2016).

Unten stehende Grafik zeigt die Anzahl der Hexagone mit dem jeweiligen Largest-Patch-Index für die Jahre 2001, 2005, 2011 und 2016.



Im Histogramm wird ersichtlich, dass der Largest-Patch-Index mit V1 am geringsten im Jahr 2001 ausfällt. Vergleichsweise gibt es in diesem Jahr mehr Hexagone mit einem Largest-Patch-Index von V2 und V5 als in den anderen Jahren. Wirkt die Anzahl der Hexagone mit einem Largest-Patch-Index von V5 zunächst gering, ist jedoch zu bedenken, dass in diesen Zonen eine starke Versiegelung

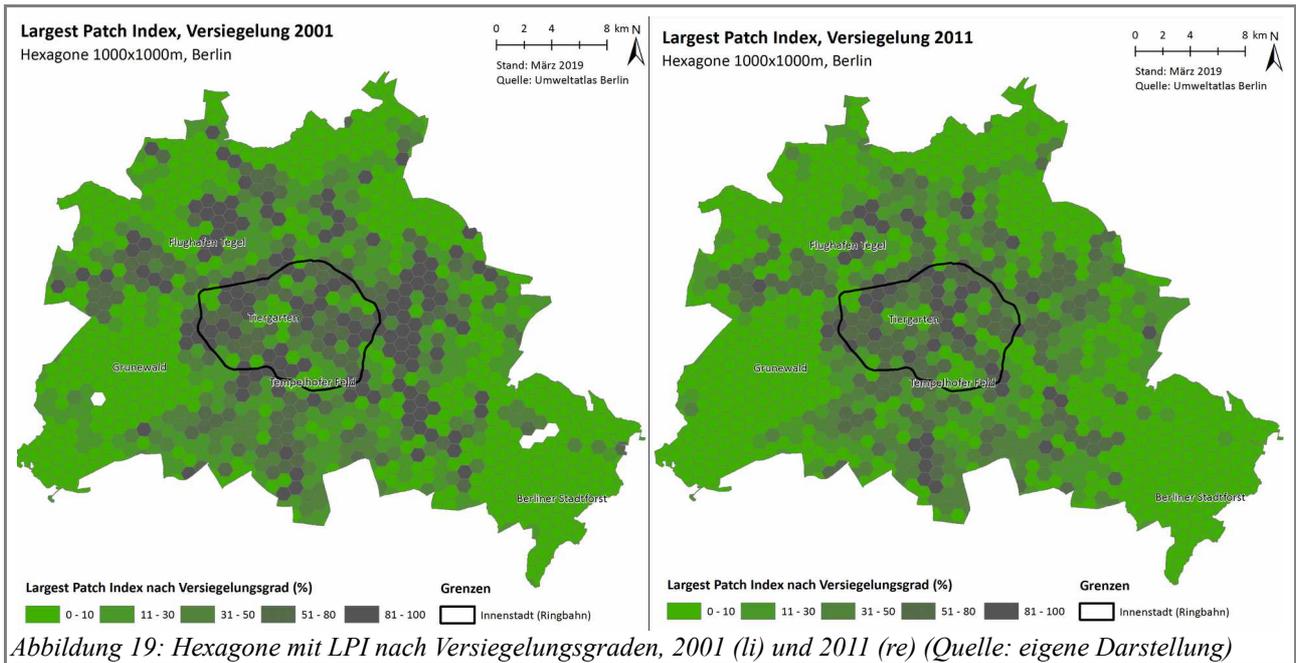
herrscht. Die deutliche Abnahme des Largest-Patch-Index mit V5 von 2001 bis 2005 kann als Entsiegelung in den entsprechenden Zonen interpretiert werden.

Interessant ist die vergleichsweise entgegengesetzte Entwicklung eines LPI von V2 mit einer Versiegelung von 11–30 Prozent und V3 mit 31–50 Prozent Versiegelung. So haben Zonen mit einem hohen Anteil wenig versiegelter Flächen mit vorhandenen Grünflächen abgenommen, während Zonen mit dem höchsten Flächenanteil von V3 zugenommen haben. Eine Entwicklung hin zu mehr Versiegelung wird daraus ersichtlich. In den Jahren 2005 bis 2016 wird dies nochmal verstärkt bestätigt durch die leichte Abnahme der Anzahl von Zonen mit einem LPI von V1 und einer steigenden Tendenz von Zonen mit einem LPI von V5.

Kann aus oben abgebildeter Grafik ein Trend zu mehr Versiegelung mit gleichzeitigem Bewusstsein, stark versiegelte Zonen zu entsiegeln, abgeleitet werden, ist für die Analyse der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* die räumliche Verteilung der Zonen mit verschiedenem LPI von besonderem Interesse.

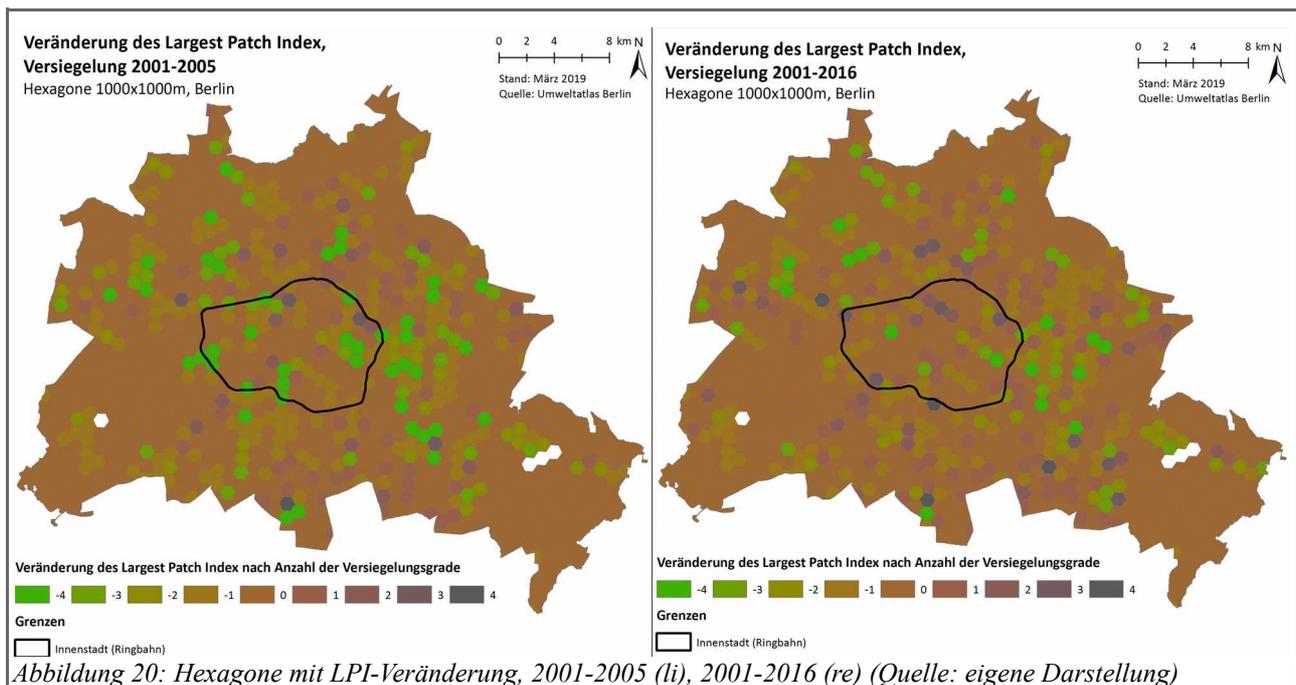
Die LPI-Zonen des Jahres 2001 sind verstreut, wenngleich Cluster von Zonen mit einem sowohl sehr als auch wenig versiegelten LPI auftreten (siehe Abbildung 19, links). Insbesondere große Grünräume, wie der Berliner Stadtforst und der Grunewald, aber auch innerstädtische Grünflächen, wie der Tiergarten, sind durch diese Cluster räumlich gut zuzuordnen. Das Gebiet des Flughafens Tegel weist gleichzeitig ein Cluster mit einem LPI von V5 auf. Weitere Cluster mit einem LPI von sehr versiegelten Flächen häufen sich östlich der Innenstadt.

In den Jahren 2005, 2011 und 2016 ist eine eindeutige Ansammlung von Zonen mit einem hohen LPI, also starker Versiegelung, in der Innenstadt erkennbar (siehe Abbildung 19, rechts & Anhang Abbildung XVIII). Weiterhin können Cluster bestimmter LPI-Zonen räumlich zugeordnet werden: Ein Cluster mit einem LPI von V5 im Süden von Berlin weist beispielsweise auf das 205 Hektar große Industriegebiet Motzener Straße hin (Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg von Berlin & Regioconsult, 2007).



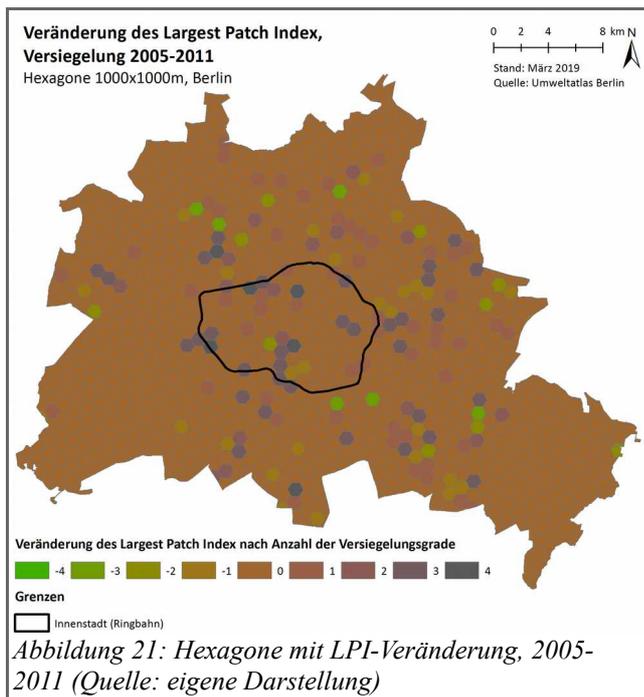
Für die Analyse der Veränderung des LPI über die vier Zeitpunkte 2001, 2005, 2011 und 2016 hinweg, wurden diese miteinander verglichen und Differenzen berechnet.

Die obige Annahme von Entsiegelung zwischen den Jahren 2001 und 2005 (siehe Abbildung 20, links) bestätigt sich hierbei. Danach hat Entsiegelung sowohl in der Innenstadt als auch außerhalb der Innenstadt stattgefunden. Die „grüner“ werdenden Zonen sind verstreut und treten meist in Clustern auf, während Zonen mit einem zunehmenden LPI zu mehr Versiegelung meist alleine auftreten.



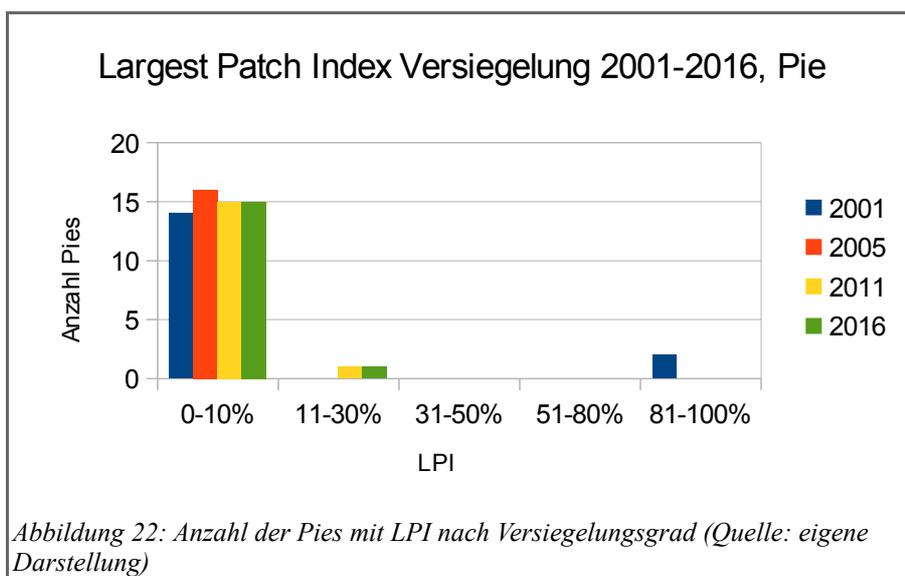
Wird der Gesamtzeitraum 2001 bis 2016 betrachtet, zeigt sich die räumliche Konzentration „grüner“ werdender Zonen außerhalb der Innenstadt (siehe Abbildung 20, rechts). Werden die Ergebnisse der Veränderungen beider Zeiträume zusammen genommen, lässt sich schlussfolgern, dass nach 2005 wiederum zunehmende Versiegelung in der Innenstadt stattgefunden hat.

Die Veränderung der Versiegelung im Zeitraum 2005 bis 2011 bestätigt dies: Entsprechend der Ergebnisse der Veränderung des LPIs hat in diesem Zeitraum wenig Ent- und mehr Versiegelung, auch deutlich in der Innenstadt, stattgefunden (siehe Abbildung 21).



Die LPI-Berechnungen der Hexagone mit einem Durchmesser von 1.000 Metern zeigen Veränderungen der Versiegelungsgrade zwischen 2001 und 2016 mit einer leichten Tendenz unterschiedlicher Entwicklungen in der Innenstadt im Vergleich zu Gebieten außerhalb der Innenstadt. Cluster mit Zonen des gleichen LPIs treten auf, die auch räumlich in der Stadt verortet werden können. Direkte Veränderungen der Stadtstruktur werden daraus nicht ersichtlich.

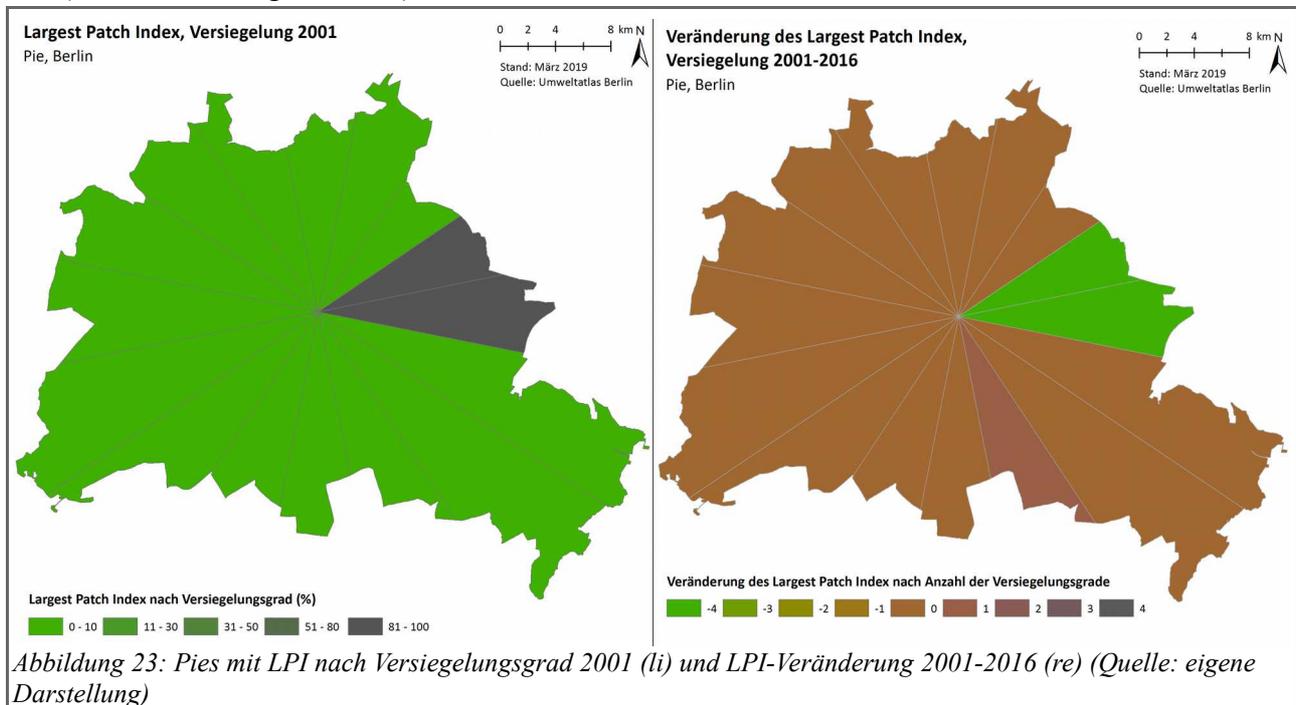
Mit den Berechnungen des LPIs auf Pie-Ebene wird untersucht, ob Veränderungen des LPIs in den einzelnen Himmelsrichtungen vorhanden



sind. Der hohe Anteil an Zonen mit einem LPI von V1 wird bei der Berechnung auf Pie-Ebene noch deutlicher (siehe Abbildung 22). Dies wird darin begründet, dass Pies sowohl Bereiche der Innenstadt als auch außerhalb der Innenstadt umfassen und sich deshalb ähnlich sind. Nur im Jahr

2001 konnten auch Pies mit einem LPI von V5 verortet werden.

Dies zeigt sich auch in der qualitativen Analyse des LPIs im Jahr 2001. Entsprechend der Berechnungen auf Hexagon-Ebene befinden sich die Pies mit einem LPI von V5 wiederum im Osten Berlins (siehe Abbildung 23, links).



In den darauffolgenden Jahren sind alle Pies einem LPI von V1 oder V2 zuzuordnen (siehe Anhang Abbildung XIX). Dies wird auch in der Untersuchung der Veränderungen des LPIs zwischen den Zeitpunkten sichtbar. Eine deutliche Veränderung ist lediglich im Zeitraum 2001 bis 2005 bzw. gesamt, 2001 bis 2016, erkennbar (siehe Abbildung 23, rechts & Anhang Abbildung XIX, unten rechts).

### Exkurs Stadtumbau Ost

Dies lässt sich auf die Bautätigkeiten im Rahmen des Städtebauförderungsprogramms *Stadtumbau Ost* zurückführen. Dabei handelt es sich einerseits um eine Rückbaustrategie, andererseits um die Stärkung von Innenstädten und Quartieren in ostdeutschen Städten (Bundestransferstelle Stadtumbau Ost im Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V., 2012). Schwerpunkt des Programms in Berlin sind neben innerstädtischen Quartieren die Großwohnsiedlungen Marzahn, Hellersdorf und Neu-Hohenschönhausen im Osten der Stadt (ebd.). Für die Großwohnsiedlungen wurde aufgrund einer hohen Leerstandsquote das Ziel definiert, Rückbau und eine Aufwertung der Wohnstandorte zu betreiben (ebd.). In den Jahren 2002 bis 2015 hat dadurch vor allem Marzahn-Hellersdorf Entsiegelung erfahren (ebd.).

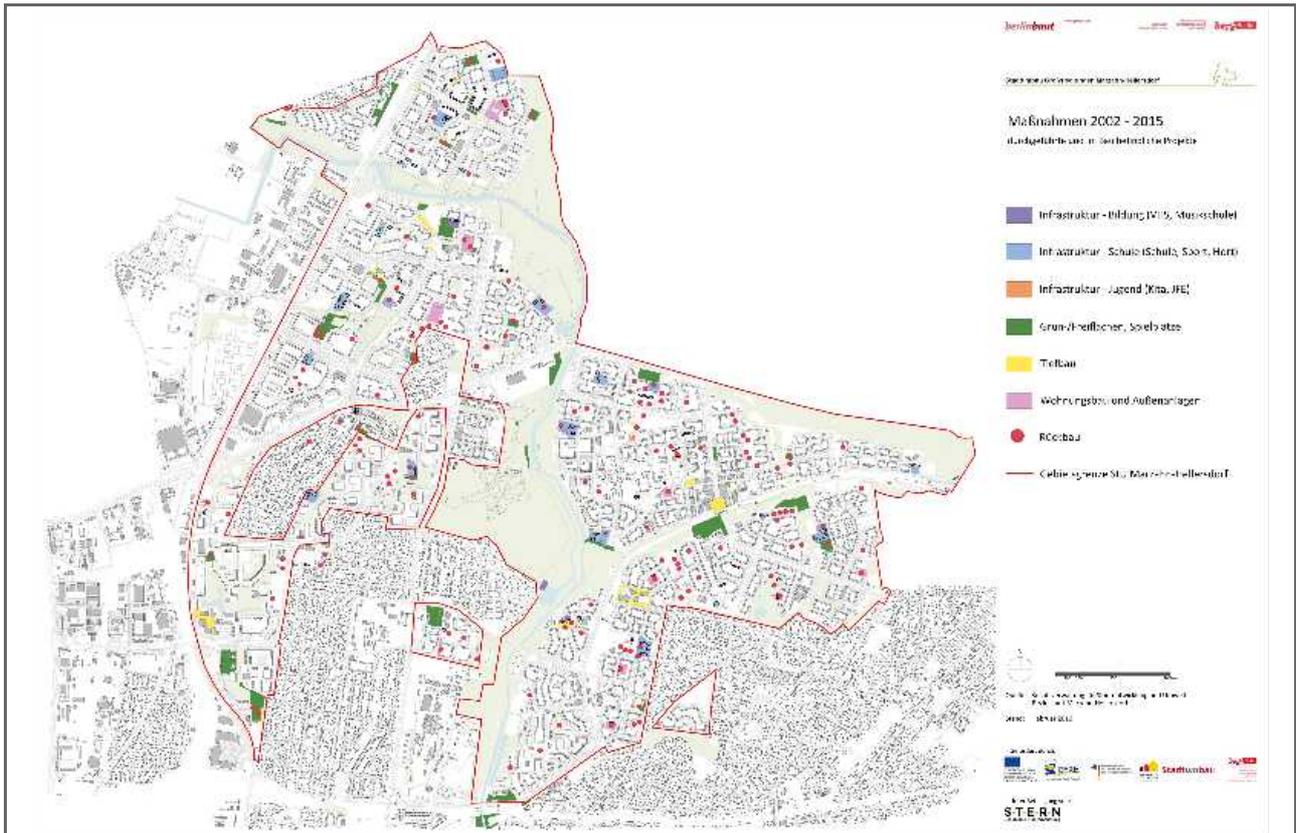


Abbildung 24: Maßnahmen in Berlin Marzahn-Hellersdorf im Rahmen von Stadtumbau Ost zwischen 2002 und 2015 (Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Bezirksamt Marzahn-Hellersdorf)

Dies erklärt die zunächst starke Versiegelung (V5) im Berliner Osten, die bis 2005 durch Entsiegelung abnimmt.

Aufgrund der ebenso großräumigen Fläche ähneln die Ergebnisse der LPI-Berechnungen auf Bezirksebene jenen der Pies.

Im Vergleich dazu konnten jedoch nur Bezirke mit einem LPI von V1 und nicht auch V2 errechnet werden. Lediglich die Ergebnisse im Jahr 2001 zeigen auch Bezirke mit einem LPI von V5 (siehe Abbildung 25).

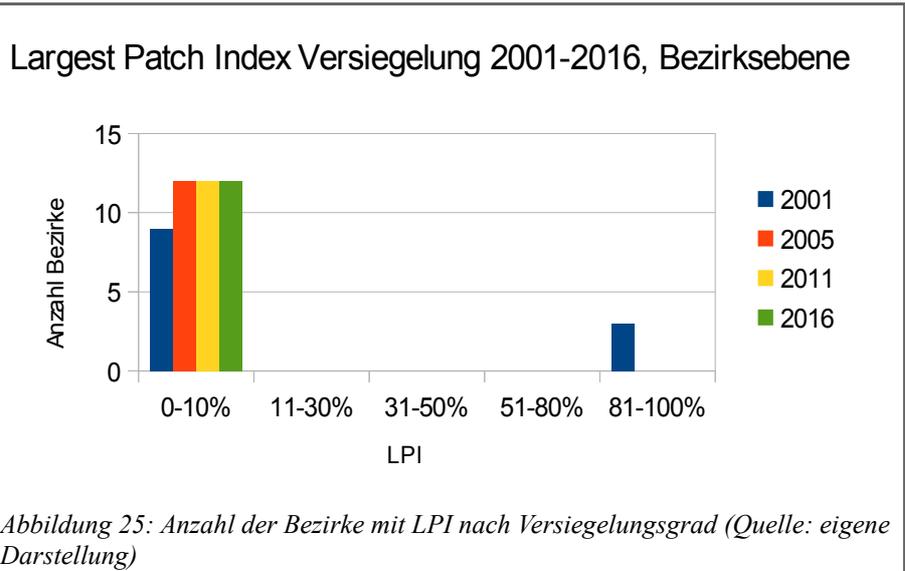


Abbildung 25: Anzahl der Bezirke mit LPI nach Versiegelungsgrad (Quelle: eigene Darstellung)

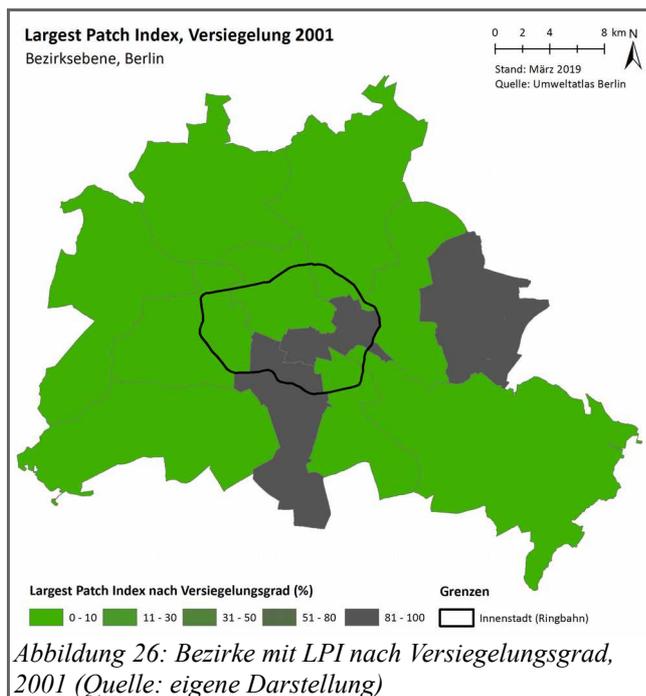


Abbildung 26: Bezirke mit LPI nach Versiegelungsgrad, 2001 (Quelle: eigene Darstellung)

Im städtischen Raum befinden sich die Bezirke mit einem LPI von V5 nicht nur im Osten Berlins (Marzahn-Hellersdorf), sondern auch im Süden (Tempelhof-Schöneberg) und im innerstädtischen Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg (siehe Abbildung 26).

Da in den Jahren 2005, 2011 und 2016 alle Bezirke einen LPI von V1 haben, sind die einzigen Veränderungen im Zeitraum 2001 bis 2005 festzustellen (siehe Anhang Abbildung XX). Die LPI-Ergebnisse auf Pie- und Bezirksebene sind somit nicht sehr aussagekräftig, weswegen weitere Berechnungen auf kleinräumiger Verwaltungsebene, der Stadtteilebene, durchgeführt wurden.

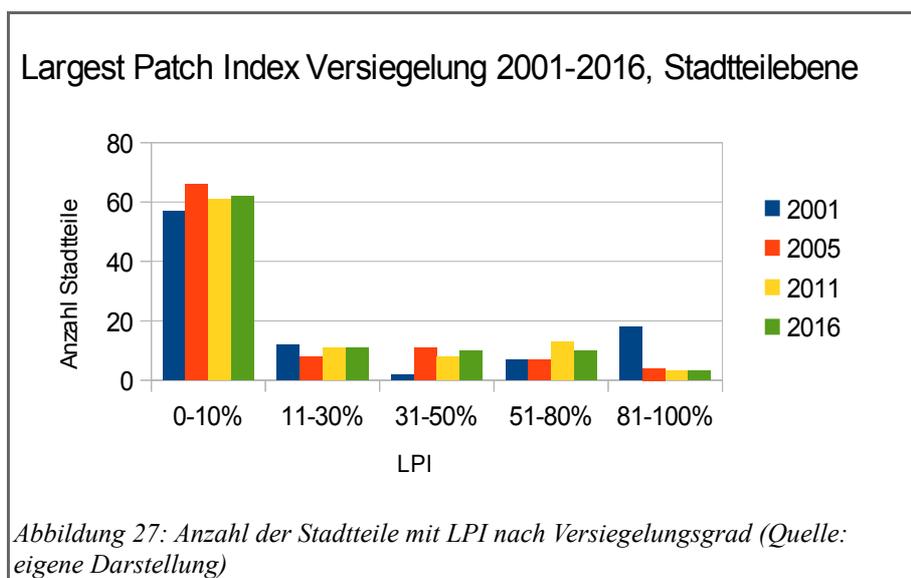


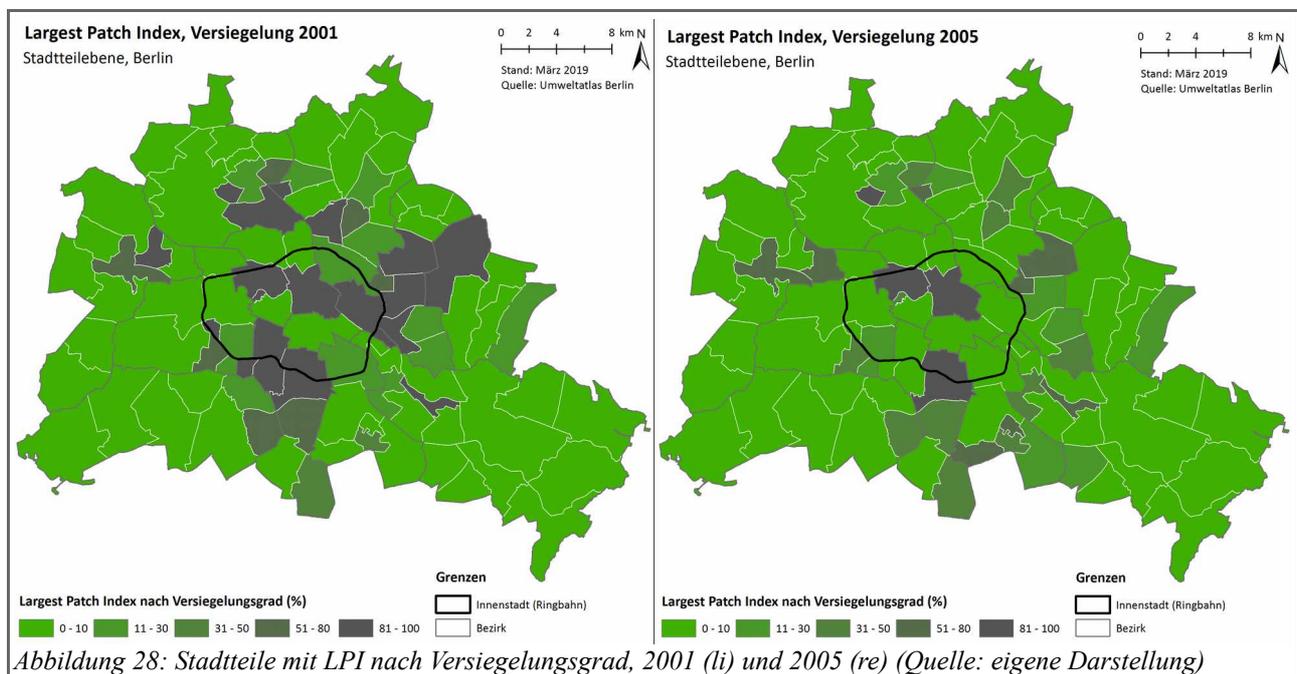
Abbildung 27: Anzahl der Stadtteile mit LPI nach Versiegelungsgrad (Quelle: eigene Darstellung)

Ein differenzierteres Ergebnis zeigt sich entsprechend der Erwartungen auf der Stadtteilebene. Auch hier haben die meisten Zonen einen LPI von V1 und im Jahr 2001 ist der Anteil an Zonen mit V5, im Vergleich zu den anderen Jahren, am höchsten (siehe Abbildung 27). Wird das Histogramm

mit den Ergebnissen auf der kleinräumigen statistischen Ebene der Hexagone verglichen, zeigt sich jedoch weniger ein Trend zu Veränderungen zwischen den Jahren 2001, 2005, 2011 und 2016. Eine stetige Zu- oder Abnahme an Zonen mit sehr oder kaum versiegelten Flächen kann nicht ausgemacht werden.

Wird die räumliche Verteilung betrachtet, ist im Jahr 2001 eine klare Häufung von Zonen mit einem LPI von V5 in der Innenstadt bis hin zum östlichen Rand Berlins erkennbar (siehe Abbildung 28, links). Die teilweise innerstädtisch gelegenen Stadtteile Schöneberg und Tempelhof mit einem LPI

von V5 erklären hier nun auch das Ergebnis auf Bezirksebene, den Bezirk Tempelhof-Schöneberg betreffend.

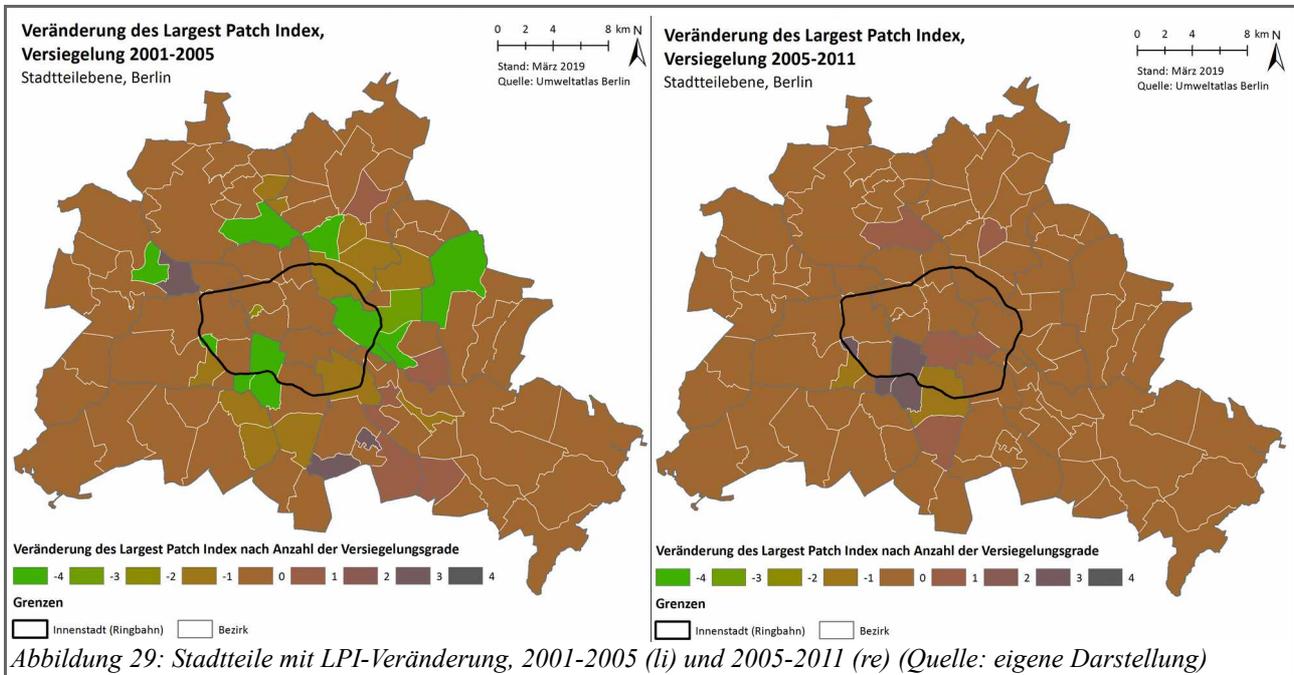


In den Jahren 2005, 2011 und 2016 befinden sich die Stadtteile mit einem LPI sehr versiegelter Flächen (V5) im Innenstadtbereich (siehe Abbildung 28, rechts & Anhang Abbildung XXI, oben). Einzige Ausnahme ist der flächenmäßige kleine Stadtteil Borsigwalde. Die starke Versiegelung in Borsigwalde lässt sich auf die Geschichte bzw. Art der Bebauung zurückführen. Ende des 19. Jahrhunderts errichtete das Unternehmen *Borsig* in dem Stadtteil sein neues Werk mit der Arbeiterwohnsiedlung *Borsigwalde* (Bezirksamt Reinickendorf von Berlin, 2019).

Eine Häufung von Stadtteilen mit einem LPI von V3 oder V4 findet sich in diesen Jahren im Süden Berlins.

Bei Betrachtung der Veränderung des LPIs auf Stadteilebene wird in den Jahren 2001 bis 2005 und damit auch gesamt, 2001 bis 2016, die Entsiegelung im Osten Berlins (Stadtteile: Friedrichshain, Lichtenberg, Marzahn) sowie in den nördlichen Stadtteilen Reinickendorf und Pankow ersichtlich. Damit wird die Analyse auf anderer statistischer Ebene bestätigt (siehe Abbildung 29, links & Abbildung XXI, unten links). Eine weitere Abnahme des LPIs verzeichnen in diesem Zeitraum auch die Stadtteile Haselhorst im Westen sowie Hansaviertel, Schöneberg und Friedenau im Innenstadtbereich oder in Bereichen nahe der Innenstadt. Ein zunehmender LPI hinsichtlich des Versiegelungsgrads zeigt sich in den betrachteten Zeiträumen vor allem in Siemensstadt und Buckow.

Im Zeitraum 2005 bis 2011 zeigt sich wiederum eine Zunahme an Versiegelung, vor allem in den Stadtteilen Halensee, Friedenau und Schöneberg (siehe Abbildung 29, rechts), während zwischen 2011 bis 2016 eine weitere Abnahme des die Versiegelungsgrade betreffenden LPIs in den Stadtteilen Tempelhof und Heinersdorf stattfindet (siehe Anhang Abbildung XXI, unten rechts).



Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Berechnung des LPIs auf kleinräumiger Ebene, Hexagone mit 1.000 Metern und Stadtteile, deutlich differenziertere und erkenntnisreichere Ergebnisse liefert als auf großräumiger Ebene der Bezirke und Pies. Alle Ergebnisse zusammenfassend lässt sich jedoch konstatieren, dass die meisten Zonen einen LPI von V1, auf allen statistischen Ebenen und zu allen Zeitpunkten, aufweisen und sich vor allem für die innerstädtischen Zonen keine großen Veränderungen des LPIs im Zeitraum 2001 bis 2016 dokumentieren lassen.

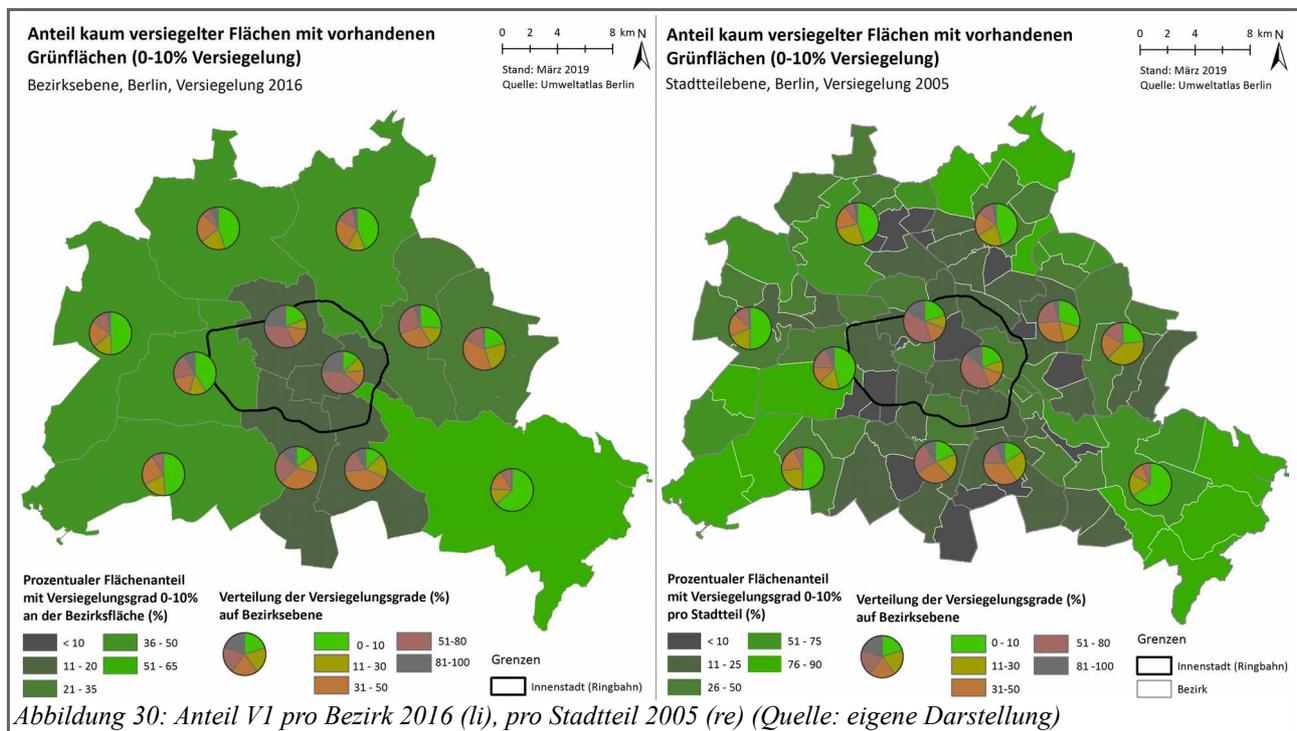
Veränderungen zeichnen sich insbesondere im Zeitraum 2001 bis 2005 und hinsichtlich einer Abnahme des LPIs der Versiegelungsgrade ab. Dies kann als Entsiegelungshinweis gedeutet werden. In den folgenden Jahren, überwiegend von 2011 bis 2016, nimmt der LPI hingegen tendenziell und vor allem im innerstädtischen Bereich zu, was für eine zunehmende Versiegelung spricht.

## 4.2. Ergebnisse: Area Metrics

Während die Berechnungen des LPIs einen groben Überblick über den am meisten vorkommenden Versiegelungsgrad innerhalb einer Zone bietet, kann die Berechnung der Area Metrics ein weitaus differenzierteres Ergebnis hinsichtlich der Entwicklung der einzelnen Versiegelungsgrade liefern.

### 4.2.1. Versiegelungsgrad V1, 0–10 Prozent Versiegelung

Bei der Untersuchung des Anteils kaum versiegelter Flächen innerhalb einer Zone zeigt sich, dass dieser vor allem in der Innenstadt sowie nahe der Innenstadt, im Süden und Osten Berlins sehr gering ausfällt. Auf Bezirksebene bedeutet dies, dass insbesondere die innerstädtischen Bezirke Mitte, Friedrichshain-Kreuzberg, Schöneberg-Tempelhof, Neukölln sowie Lichtenberg und Marzahn-Hellersdorf im Osten Berlins einen sehr geringen V1-Anteil aufweisen (siehe Abbildung 30, links). Diese Verteilung bleibt zu allen vier Zeitpunkten gleich und bestätigt sich sowohl auf hexagonaler, Pie-, Bezirks- und Stadtteilebene. Einzige Ausnahme ist die Stadtteilebene im Jahr 2005, wo sich eher ein diffuses und verstreutes Bild der V1-Anteile abbildet (siehe Abbildung 30, rechts).



Grünflächen hingegen zeichnen sich als Zonen mit einem sehr hohen V1-Anteil ab und können in der Bildanalyse gut in der Stadt verortet werden. Auf hexagonaler Ebene sind somit beispielsweise der Tiergarten oder das Tempelhofer-Flugfeld in der Innenstadt erkennbar (siehe Abbildung 31,

links). Größere Grünräume außerhalb der Innenstadt, wie der Grunewald oder der Berliner Stadtforst sind sowohl auf hexagonaler, Bezirks- (bspw. Treptow-Köpenick: Berliner Stadtforst), Stadtteil- und sogar Pieebene (bspw. Südwestliches Pie: Grundwald) ersichtlich (siehe Abbildung 31, rechts).

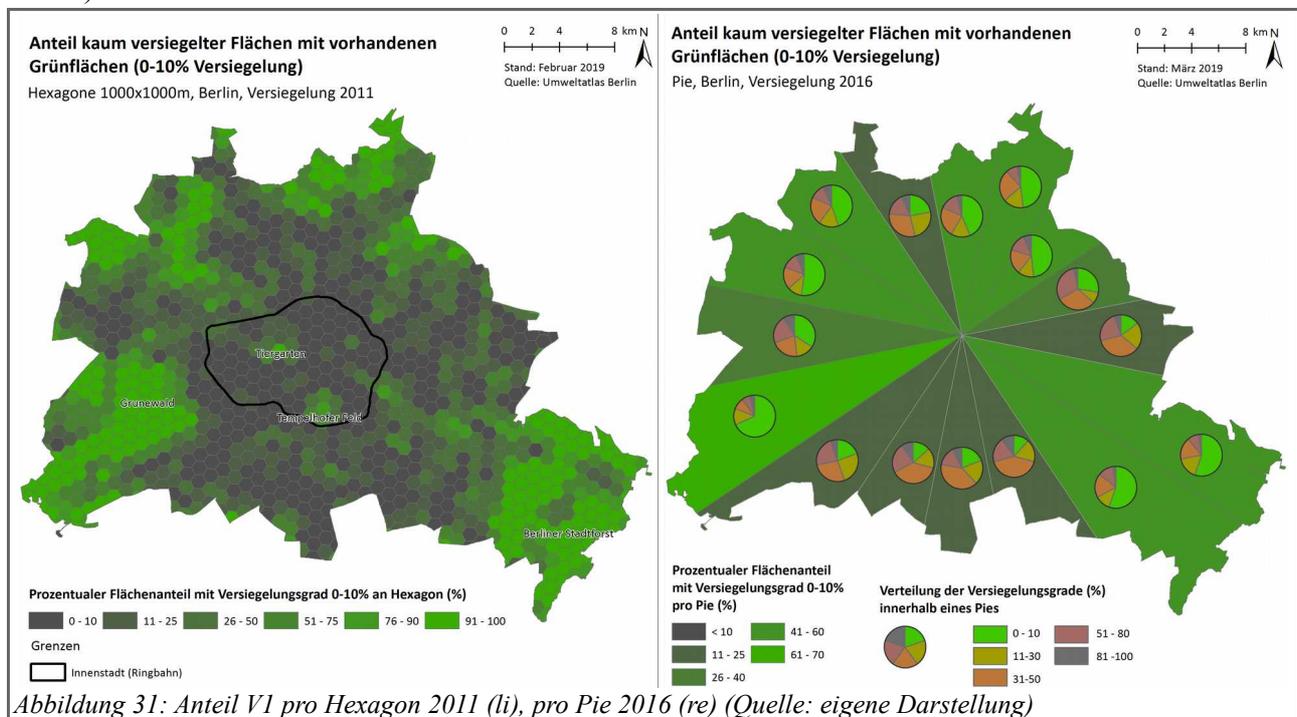
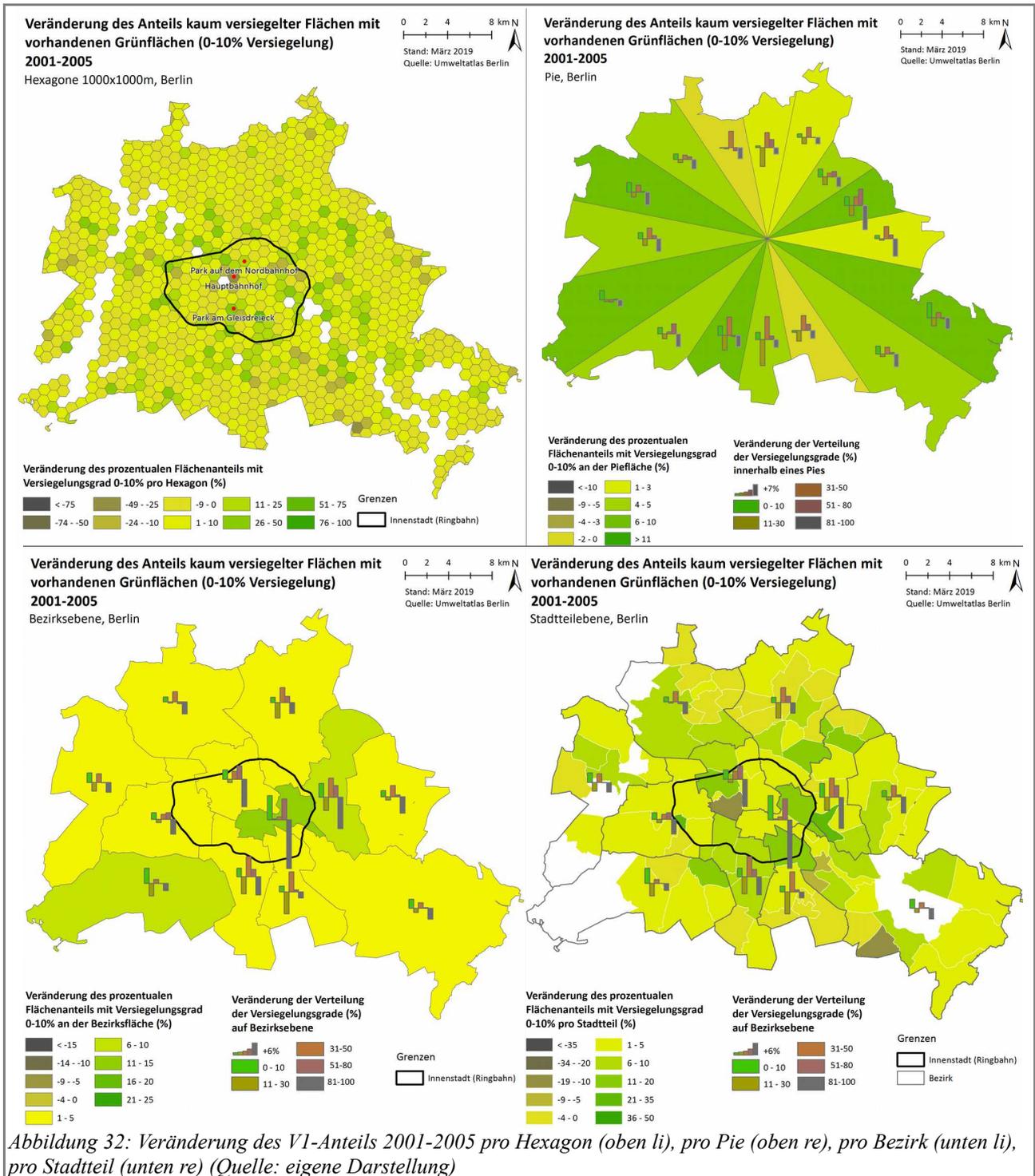


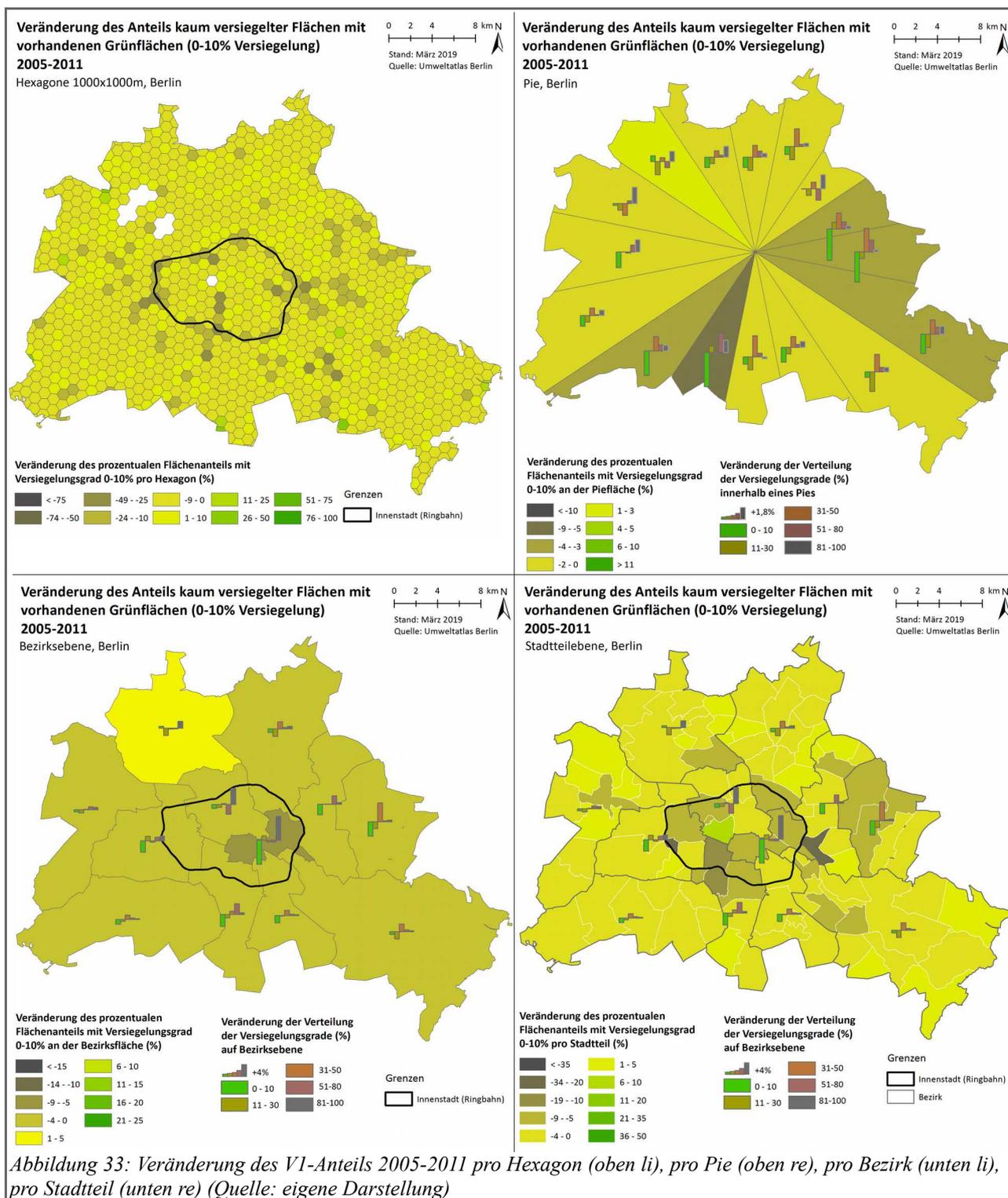
Abbildung 31: Anteil V1 pro Hexagon 2011 (li), pro Pie 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)

Scheint die Verteilung der Anteile zu den einzelnen Zeitpunkten ähnlich, macht die Berechnung der Veränderung über die Zeit Unterschiede sichtbar. Für den Zeitraum 2001 bis 2005 zeigt sich auf hexagonaler Ebene eine Zunahme des V1-Anteils sowie auch eine Abnahme bei einzelnen Hexagonen (siehe Abbildung 32, oben links). Aufgrund der Hexagongröße von 1.000 Metern Durchmesser gelingt es, innerstädtisch die Entwicklung einzelner Zonen räumlich zu verorten. So lassen sich zum Beispiel Zonen mit einem höheren Anteil an V1 auf die Entwicklung des Parks auf dem Gelände des Nordbahnhofs (2001–2009) und Zonen mit einem abnehmenden Anteil an V1 auf den Bau des Hauptbahnhofs (Fertigstellung 2006) zurückführen (Arandelovic & Bogunovich, 2014). Nur in diesem Zeitraum ist eine Häufung an Hexagonen mit einem zunehmenden Anteil an V1 feststellbar.

Dies gilt auch für die anderen statistischen Ebenen: Auf Pieebene nimmt vor allem bei den westlichen Pies der V1-Anteil zu, auf Bezirksebene sind es sowohl der westliche Bezirk Steglitz-Zehlendorf als auch das östlich gelegene Lichtenberg und das innerstädtische Friedrichshain-Kreuzberg. Dieser Befund bestätigt sich wiederum auf Stadtteilebene (siehe Abbildung 32, oben rechts und unten).



Im Vergleich dazu nimmt der V1-Anteil zwischen 2005 und 2011 eher ab. Dabei sind vor allem innerstädtische und östlich gelegene Stadtteile von der V1-Abnahme betroffen (siehe Abbildung 33). Dies deckt sich auf Bezirksebene mit dem Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg. Auf Pieebene fällt eine Abnahme des V1-Anteils auf die südlichen und östlichen Pies.



Sowohl auf hexagonaler, Pie- und Stadtteilebene bleibt der V1-Anteil pro Zone im Zeitraum 2011 bis 2016 relativ konstant (siehe Anhang Abbildung XXII). Auf Bezirksebene haben vor allem die westlichen Bezirke eine leicht abnehmende und die östlichen Bezirke eine leicht zunehmende Tendenz.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im Zeitraum 2001 bis 2005 der Anteil an V1 tendenziell eher zunimmt, zwischen 2005 und 2011 eher abnimmt und zwischen 2011 und 2016 in der Tendenz gleichbleibt. Dies ergibt ein Gesamtbild zwischen 2001 und 2016 von verstreuten zu- und abnehmenden Zonen des V1-Anteils.

Insbesondere auf der Bezirks-, aber auch der Stadtteil- und Hexagonebene wurde ersichtlich, dass die Bereiche in der Innenstadt sowie nahe der Innenstadt, im Osten und Süden Berlins einen geringen Anteil an V1 aufweisen, während südwestliche und -östliche Zonen sowie der nördliche Rand Berlins von Zonen mit einem hohen V1-Anteil geprägt sind.

#### **4.2.2. Versiegelungsgrad V2, 11–30 Prozent Versiegelung**

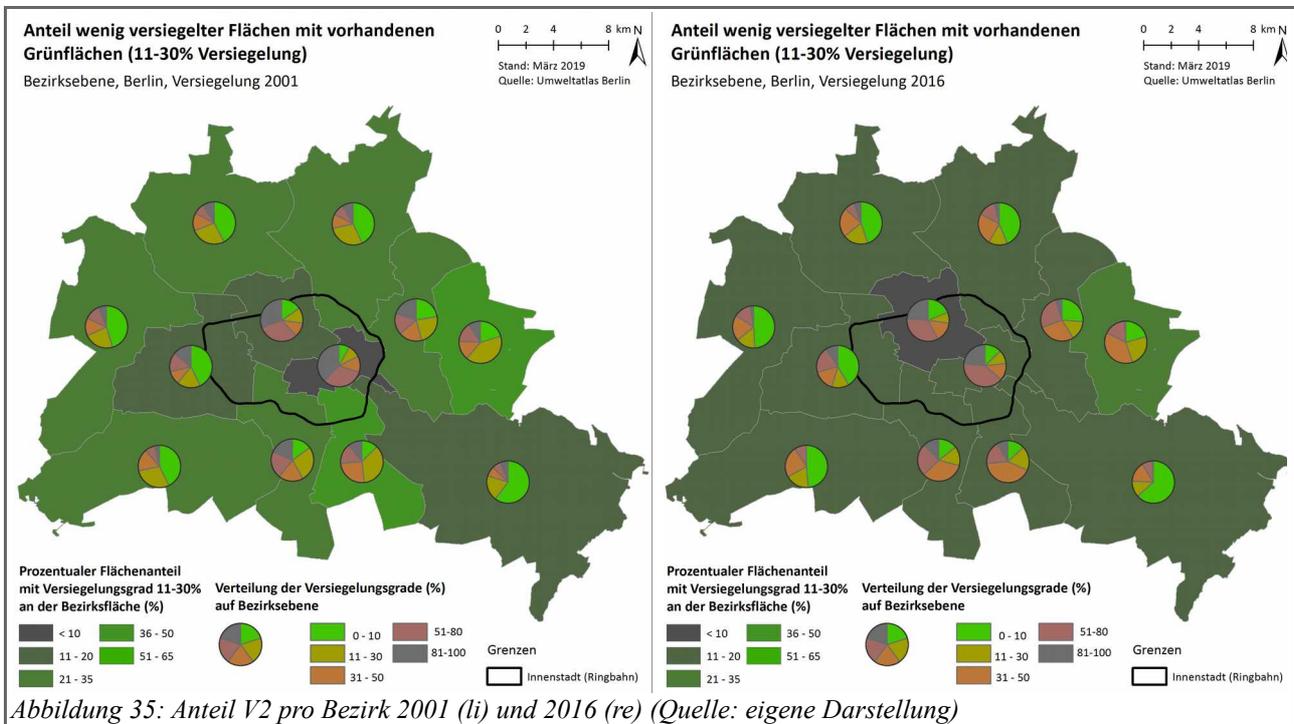
Bei den wenig versiegelten Flächen mit vorhandenen Grünflächen (V2) tritt der Innenstadtbereich durch seine bauliche Dichte mit einem sehr geringen Anteil an V2 deutlich hervor. Aber auch die außerhalb der Innenstadt gelegenen großen Grünflächen zeichnen sich durch ihren hohen V1-Anteil mit einem geringen V2-Anteil aus. Auf hexagonaler Ebene zeigt sich diese Verteilung zu allen vier Zeitpunkten ähnlich (siehe Abbildung 34, oben & Anhang Abbildung XXIII, oben).



Auf Stadtteilebene zeigen sich insofern Unterschiede, als 2001 vor allem die Innenstadtbereiche von einem sehr geringen V2-Anteil betroffen sind, während 2016 deutlich mehr und außerhalb der Innenstadt gelegene Stadtteile diesen geringen Anteil verzeichnen (siehe Abbildung 34).

Auch auf Bezirksebene wird deutlich, dass der V2-Anteil im gesamten Stadtgebiet über den Zeitraum 2001 bis 2016 abnimmt: Hier zeigt sich 2001 noch ein diverses Bild des V2-Anteils pro Bezirk; 2016 ist dieser jedoch in nahezu allen Bezirken sehr gering (siehe Abbildung 35). Der

Bezirk mit dem geringsten V2-Anteil ist im Jahr 2001 Friedrichshain-Kreuzberg. Dieser Anteil nimmt bis 2005 jedoch wieder zu. Ab 2011 ist der Bezirk mit dem geringsten Anteil Berlin-Mitte. Beide Bezirke liegen im innerstädtischen Gebiet.



Auf Pie-Ebene fällt der V2-Anteil pro Pie eher gering aus (siehe Anhang Abbildung XXIII, unten). Die Verteilung in den einzelnen Jahren ist unterschiedlich, es lassen sich keine deutlichen Cluster oder Muster erkennen.

Zwischen den vier Zeitpunkten nimmt der V2-Anteil in Gebieten außerhalb der Innenstadt ab, während der Anteil im innerstädtischen Bereich relativ konstant bleibt und nur punktuell leichte Zu- oder Abnahmen zu verzeichnen sind (siehe Abbildung 36). Ein innerstädtischer Hexagon-Cluster mit zunehmendem V2-Anteil ist auf die Entwicklung des Parks am Gleisdreieck (2008–2013) zurückzuführen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, o.J.).

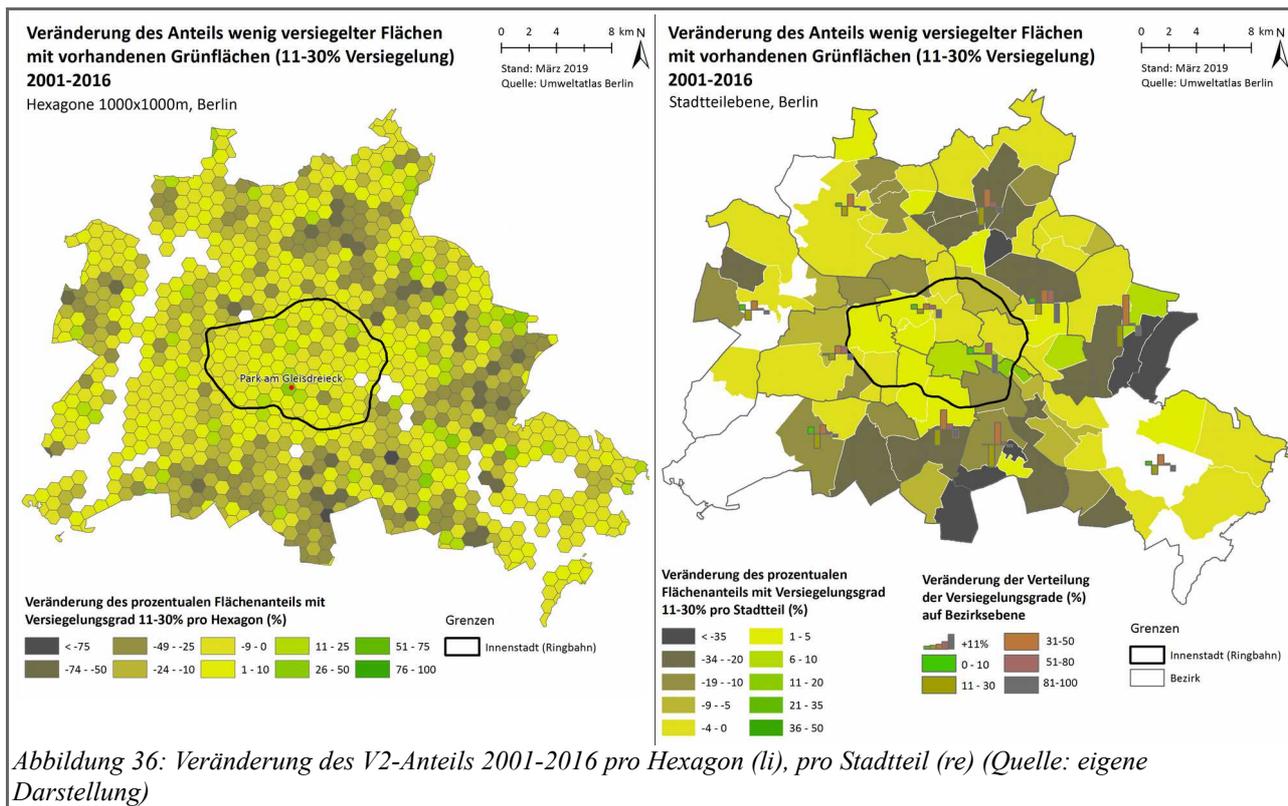


Abbildung 36: Veränderung des V2-Anteils 2001-2016 pro Hexagon (li), pro Stadtteil (re) (Quelle: eigene Darstellung)

Zwischen 2001 und 2016 scheint der am stärksten von der Abnahme des V2-Anteils betroffene Bezirk Neukölln im Süden Berlins zu sein. Ab 2011 verzeichnet auch der östliche Bezirk Marzahn-Hellersdorf eine deutliche Abnahme (siehe Anhang Abbildung XXIV, links). Insgesamt schneidet

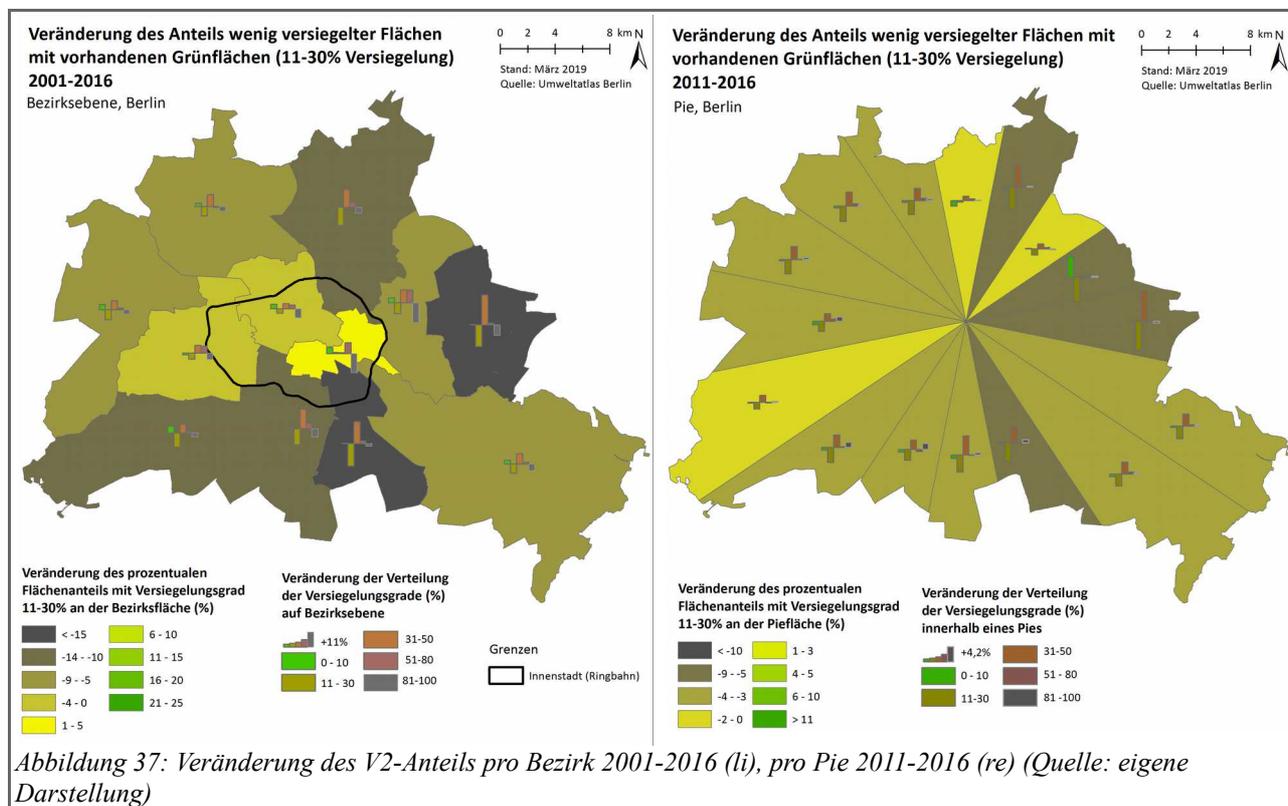


Abbildung 37: Veränderung des V2-Anteils pro Bezirk 2001-2016 (li), pro Pie 2011-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)

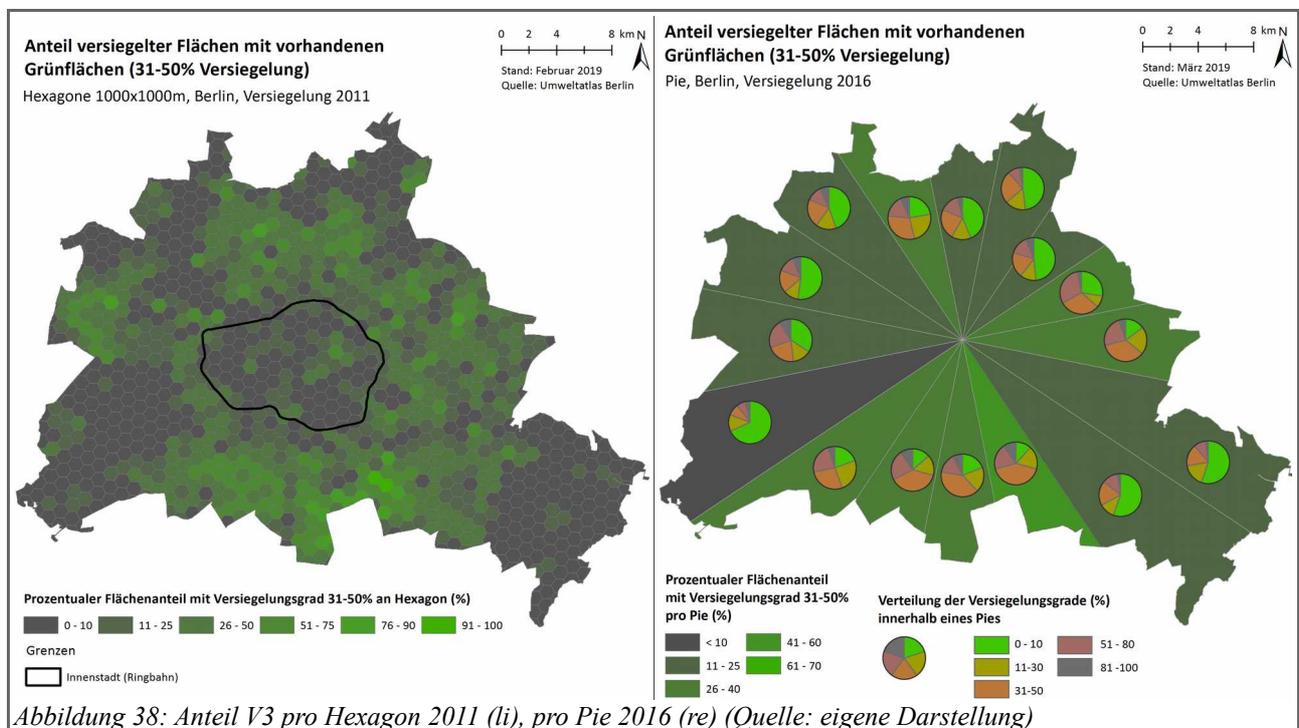
nur Friedrichshain-Kreuzberg mit einer positiven Entwicklung, wenn auch keiner starken V2-Zunahme, ab (siehe Abbildung 37, links).

Auf Pieebene machen sich die Veränderungen insofern bemerkbar, dass eine Abnahme des V2-Anteils im gesamten Berlin festgestellt werden kann. Ein Trend oder eine Systematik über die verschiedenen Zeiträume hinweg ist nicht erkennbar (siehe Abbildung 37, rechts & Anhang Abbildung XXIV, rechts).

Gesamt betrachtet zeigt sich vor allem auf hexagonaler und Stadtteilebene, dass die innerstädtischen Bereiche einen sehr geringen Anteil an Versiegelung mit dem Grad 11–30 Prozent aufweisen. Der Zeitraum 2001 bis 2016 ist davon geprägt, dass der V2-Anteil in den innerstädtischen Bereichen relativ konstant bleibt, während er außerhalb der Innenstadt deutlich zunimmt.

#### 4.2.3. Versiegelungsgrad V3, 31–50 Prozent Versiegelung

Die innerstädtischen Zonen und großen Grünflächen außerhalb der Innenstadt haben zu allen vier Zeitpunkten einen sehr geringen V3-Anteil. Die meisten Zonen mit einem sehr hohen V3-Anteil befinden sich im Süden der Stadt. Sowohl auf hexagonaler Ebene, als auch auf Pieebene wird dies bestätigt (siehe Abbildung 38).



Auf Bezirksebene liegt im Jahr 2001 der V3-Anteil in fast allen Bezirken zwischen 11 und 20 Prozent (siehe Abbildung 39, oben links). 2016 ist dieser zumindest in den außerhalb der Innenstadt liegenden Bezirken jedoch deutlich höher (siehe Abbildung 39, oben rechts). Vor allem die Bezirke mit einem hohen V4- und V5-Anteil bleiben dabei konstant, während die Bezirke mit einem relativ hohen V2-Anteil im Jahr 2001 einen höheren V3-Anteil im Jahr 2016 als 2001 aufweisen. Dies trifft auch auf das Ergebnis der Untersuchung auf Stadtteilebene zu. Mit kleinräumiger Perspektive

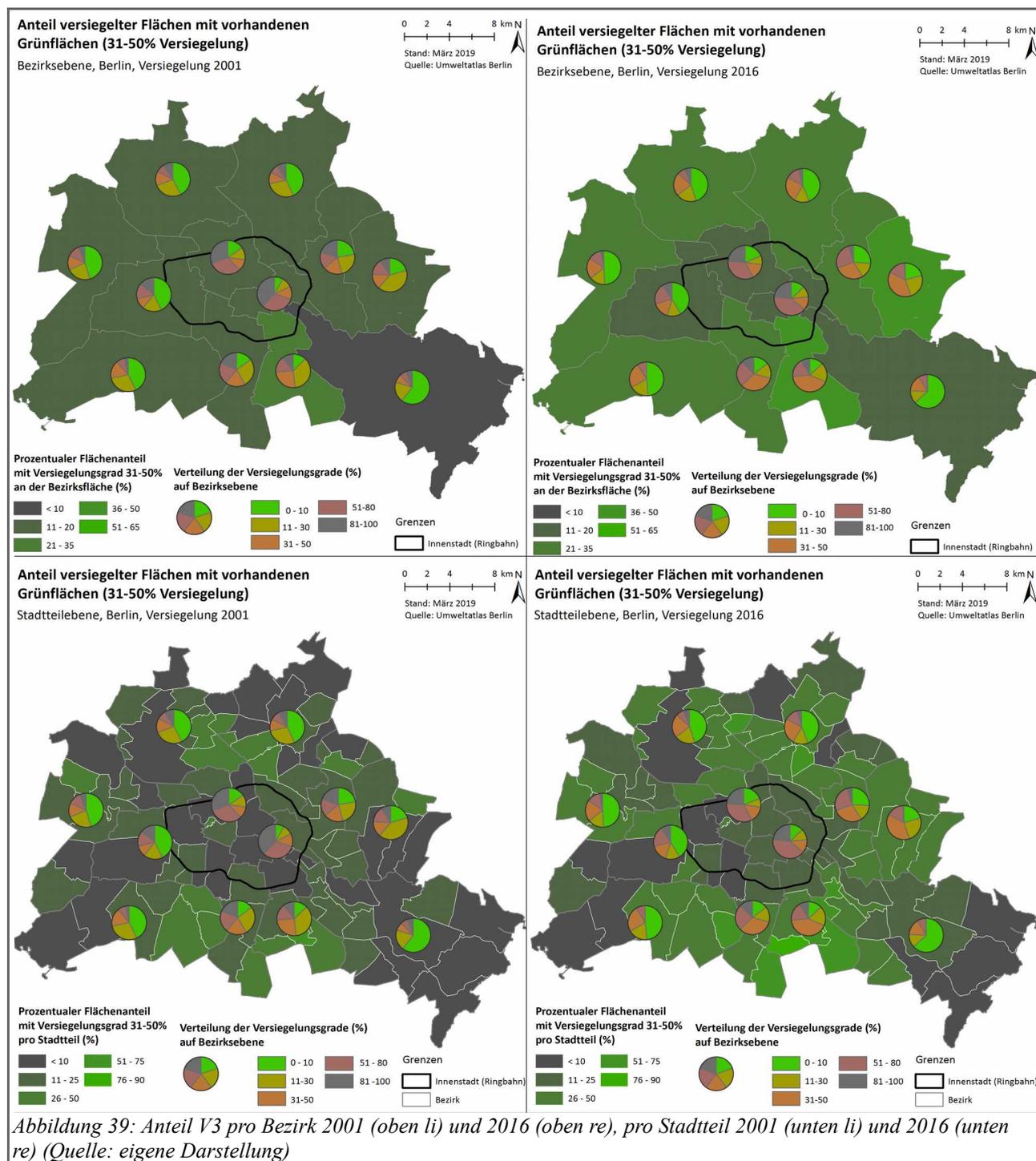


Abbildung 39: Anteil V3 pro Bezirk 2001 (oben li) und 2016 (oben re), pro Stadtteil 2001 (unten li) und 2016 (unten re) (Quelle: eigene Darstellung)

wird hier zudem ersichtlich, dass auch innerstädtische Stadtteile, wie Kreuzberg, Mitte oder Neukölln, 2016 einen höheren V3-Anteil aufweisen als 2001 (siehe Abbildung 39, unten). Auch hier liegt der höchste V3-Anteil im Süden Berlins.

Die Berechnung der Veränderung des V3-Anteils über die vier Zeitpunkte hinweg bestätigt, was aus oben abgebildeten Karten bereits ersichtlich war: Auf hexagonaler und Bezirksebene bleibt der V3-Anteil pro innerstädtischer Zone relativ konstant (ähnlich wie bei den V2-Anteilen), während der V3-Anteil in den außerhalb der Innenstadt liegenden Zonen deutlich zunimmt (siehe Abbildung 40).

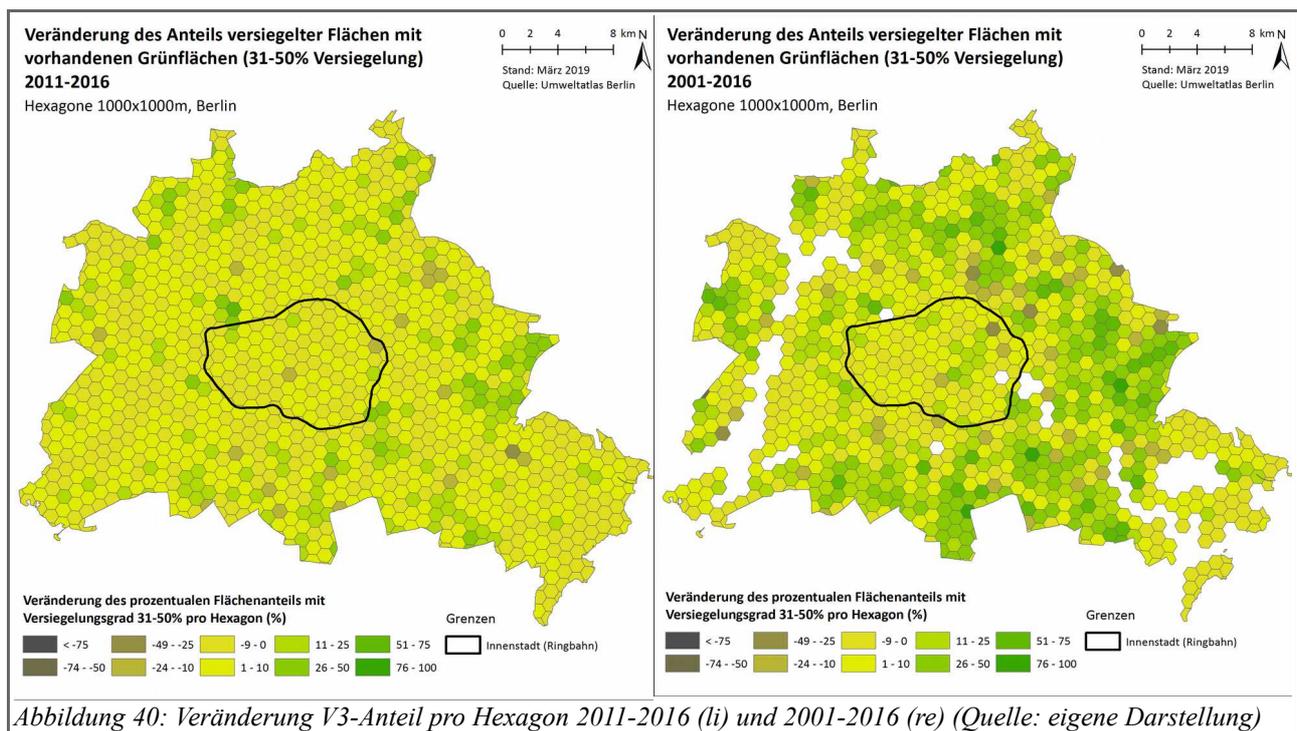
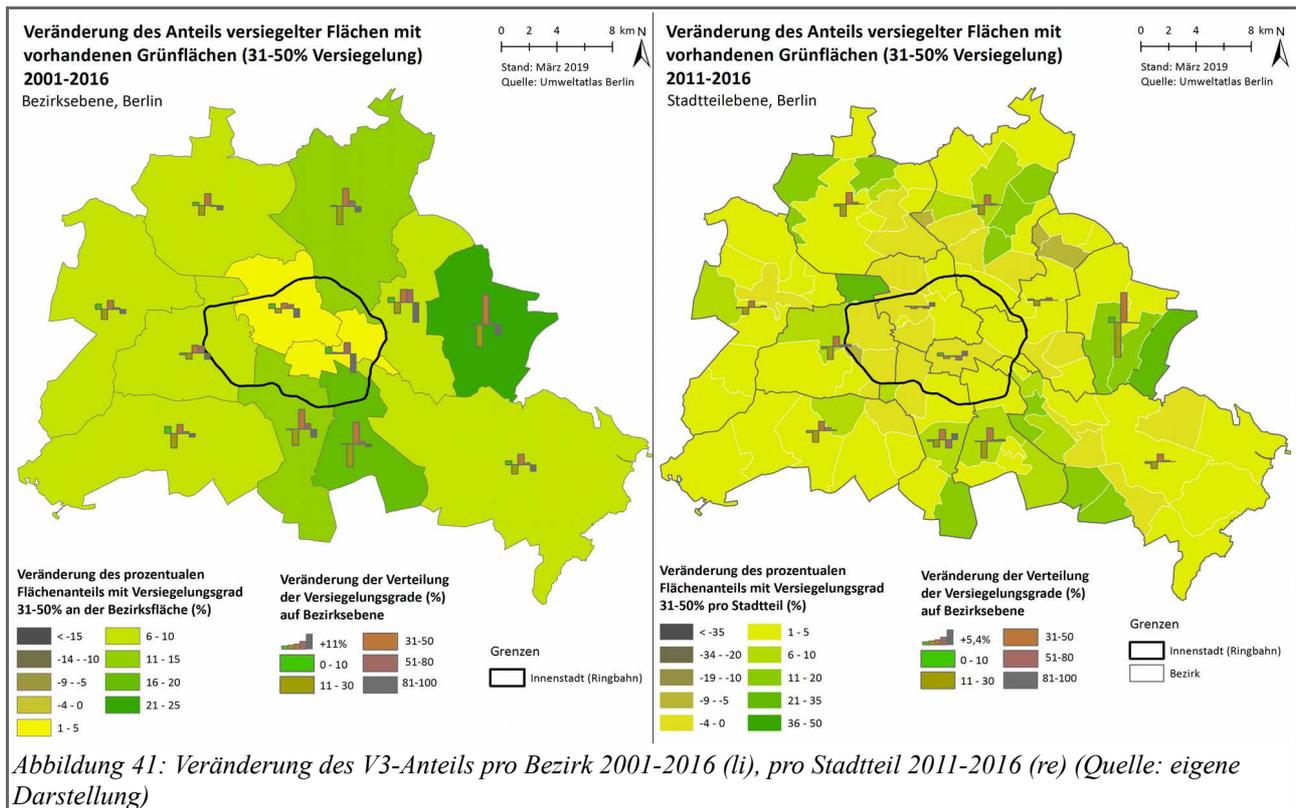


Abbildung 40: Veränderung V3-Anteil pro Hexagon 2011-2016 (li) und 2001-2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)

Dementsprechend erfahren alle Bezirke außerhalb der Innenstadt eine Zunahme des V3-Anteils zwischen 6 und 25 Prozent (siehe Abbildung 41, links). Die Bezirksebene macht zudem deutlich, dass sich die Zunahme des V3-Anteils innerhalb der Bezirke meist zu Lasten des V2-Anteils auswirkt.



Auch auf Stadtteilebene ist die Zunahme des V3-Anteils zwischen 2011 und 2016 außerhalb der Innenstadt wesentlich höher als innerstädtisch (siehe Abbildung 41, rechts). Obwohl bei den Veränderungen auf Pieebene keine deutliche Systematik zwischen den vier Zeiträumen erkennbar ist, zeigt sich eine starke Zunahme des V3-Anteils für Berlin als Ganzes (siehe Anhang Abbildung XXV).

Die Ergebnisse auf allen statistischen Ebenen und zu allen vier Zeitpunkten hinweg zeigen, dass vor allem die innerstädtischen Zonen und außerhalb der Innenstadt liegende Grünräume einen sehr geringen V3-Anteil aufweisen. Ein hoher Anteil besteht 2001 vor allem im Süden Berlins und mit Fortschreiten der Zeit dann 2016 allgemein in den Zonen außerhalb der Innenstadt. Die Zunahme des V3-Anteils geschieht überwiegend zu Lasten des V2-Anteils pro Zone. Demnach ist von einer tendenziellen Versiegelung in den Jahren 2001 bis 2016 außerhalb der Innenstadt auszugehen.

#### 4.2.4. Versiegelungsrad V4, 51–80 Prozent Versiegelung

Die Zonen mit einem hohen V4-Anteil gruppieren sich zu allen vier Zeitpunkten in der Innenstadt und nahe der Innenstadt. Zugleich sind beispielsweise auf hexagonaler Ebene innerstädtische Grünflächen, wie der Tiergarten oder das Tempelhofer Feld, als auch außerhalb der Innenstadt gelegene große Grünräume, wie der Berliner Stadforst und der Grunewald, mit einem sehr geringen V4-An-

teil leicht zu verorten (siehe Abbildung 42, oben). Aus den Hexagon-Karten kann zudem abgelesen werden, dass es 2016 mehr Hexagone mit einem hohen V4-Anteil als im Jahr 2001 gibt. Bereits auf hexagonaler Ebene wahrnehmbar, bestätigt die Pieebene einen Schwerpunkt des V4-Anteil in östlicher Richtung (siehe Abbildung 42, unten).

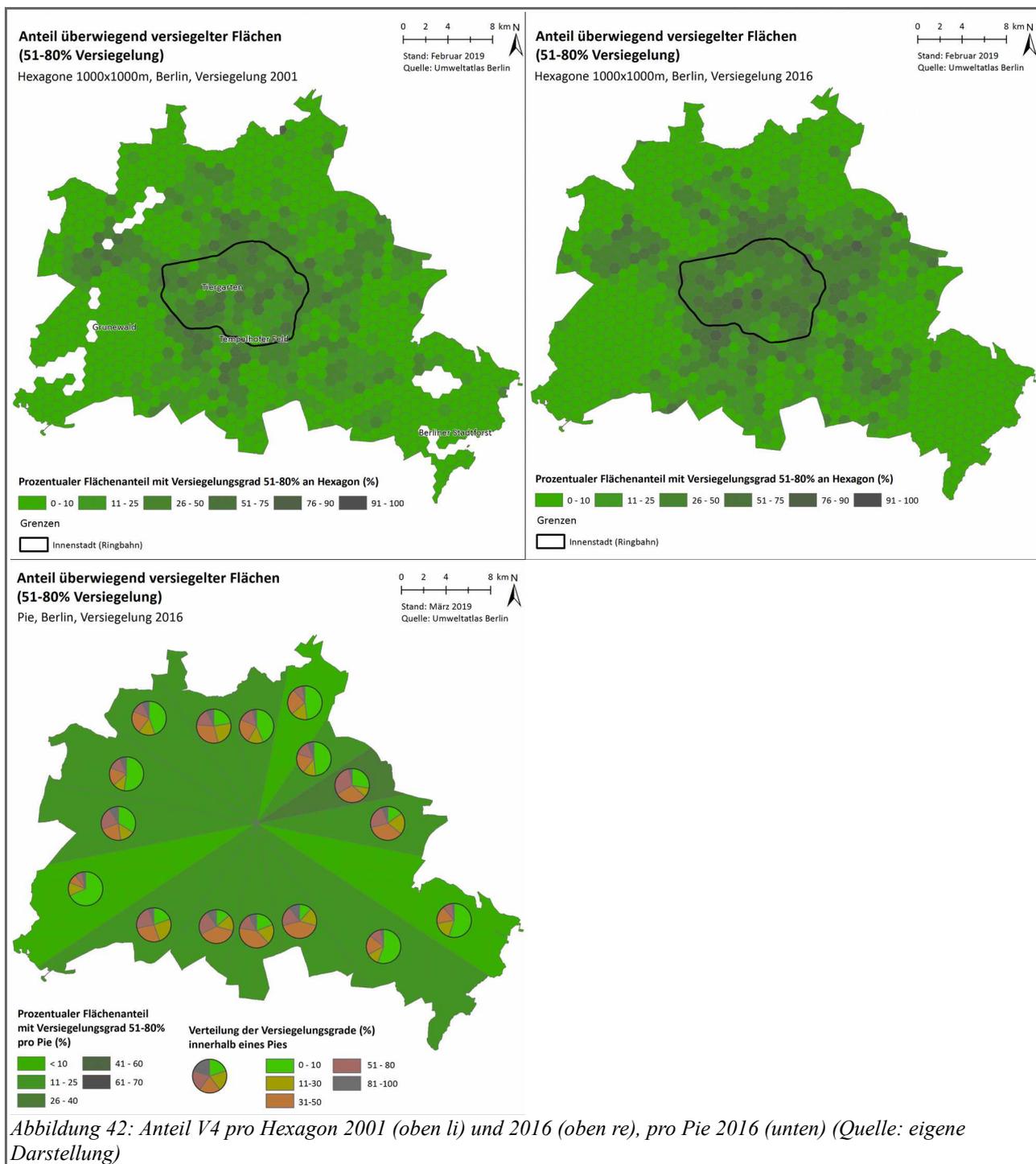
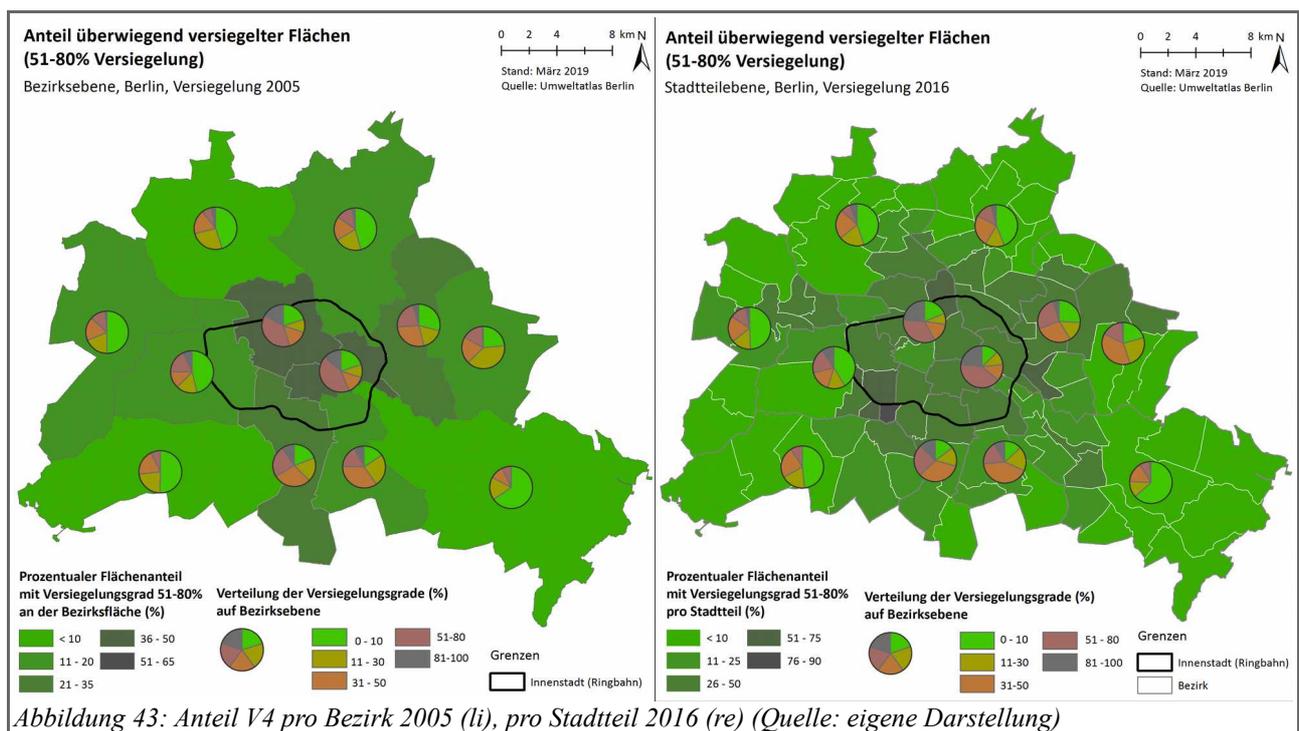


Abbildung 42: Anteil V4 pro Hexagon 2001 (oben li) und 2016 (oben re), pro Pie 2016 (unten) (Quelle: eigene Darstellung)

Die Untersuchung auf Bezirksebene macht den Schwerpunkt eines hohen V4-Anteils in der Innenstadt noch einmal deutlich sichtbar (siehe Abbildung 43, links). Im Jahr 2005 ist der V4-Anteil in

Mitte und Friedrichshain-Kreuzberg herausragend hoch. Bis 2011 nimmt dieser Anteil in Mitte wieder ab, bleibt aber für Friedrichshain-Kreuzberg bestehen (siehe Anhang Abbildung XXVI, oben).

Die kleinräumige Betrachtung auf Stadtteilebene hebt vor allem für die Jahre 2005, 2011 und 2016 die Randstadtteile der Innenstadt, Friedenau, Rummelsburg und Gesundbrunnen, mit einem sehr hohen V4-Anteil hervor (siehe Abbildung 43, rechts & Anhang Abbildung XXVI, unten). Zudem gibt es Stadtteile mit einem hohen V4-Anteil auch im östlichen Berlin und in der Innenstadt, wo nur für den Stadtteil Tiergarten ein V4-Anteil unter 26 Prozent verzeichnet werden kann.



Die Veränderungskarten zeigen deutlich eine Zunahme des V4-Anteils zwischen 2001 und 2005. Auf Pieebene ist diese vor allem in östlicher Richtung ausgeprägt (siehe Abbildung 44, unten). Zudem sind vor allem die Innenstadt und nahe der Innenstadt gelegene Bereiche betroffen (siehe Abbildung 44, oben links). Vor allem außerhalb der Innenstadt gibt es jedoch auch Hexagone, deren V4-Anteil abnimmt. Sowohl zwischen 2005 und 2011 als auch zwischen 2011 bis 2016 finden wenige Veränderungen der V4-Anteile statt (siehe Abbildung 44, oben rechts & Anhang Abbildung XXVII, oben links).

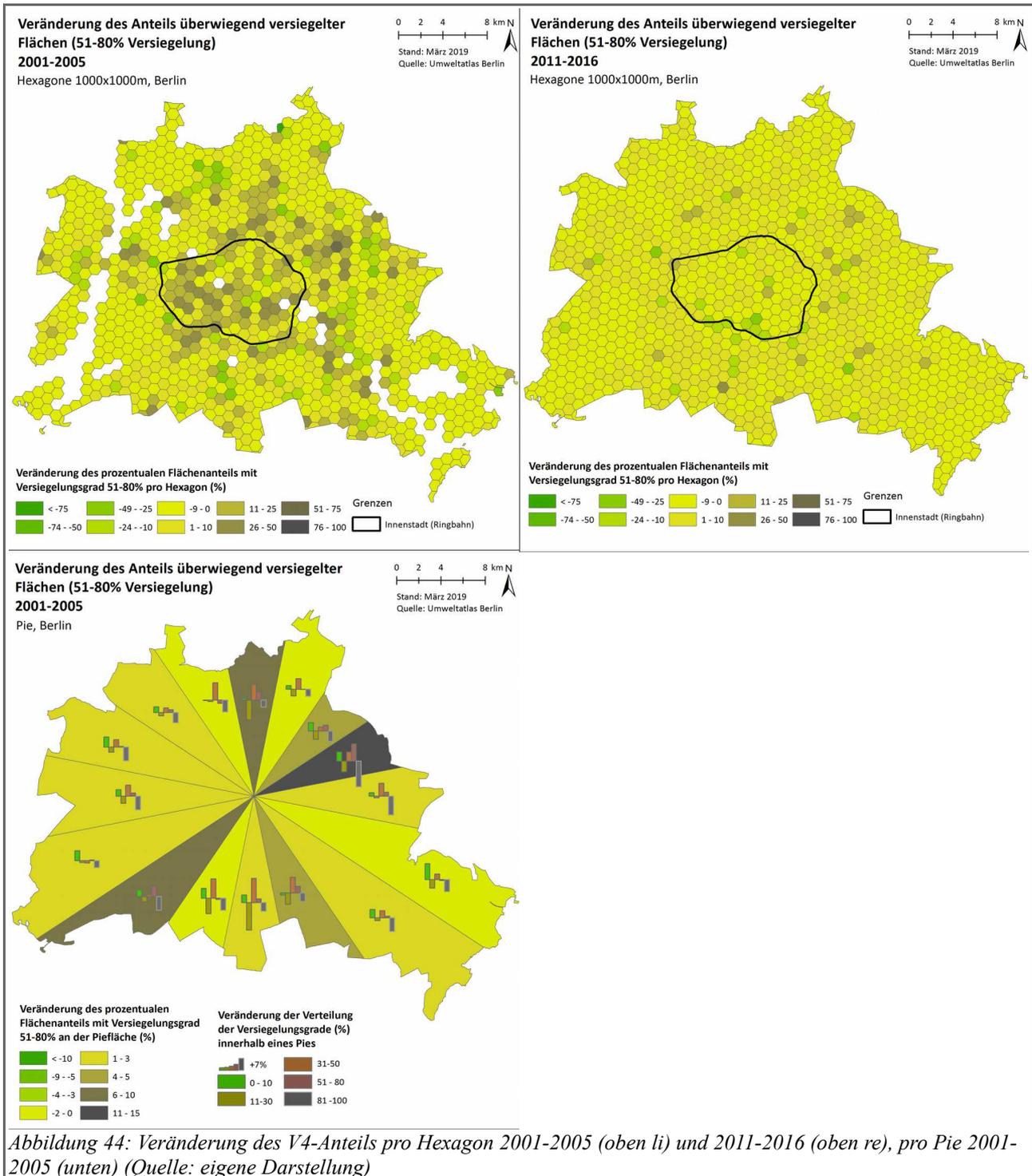
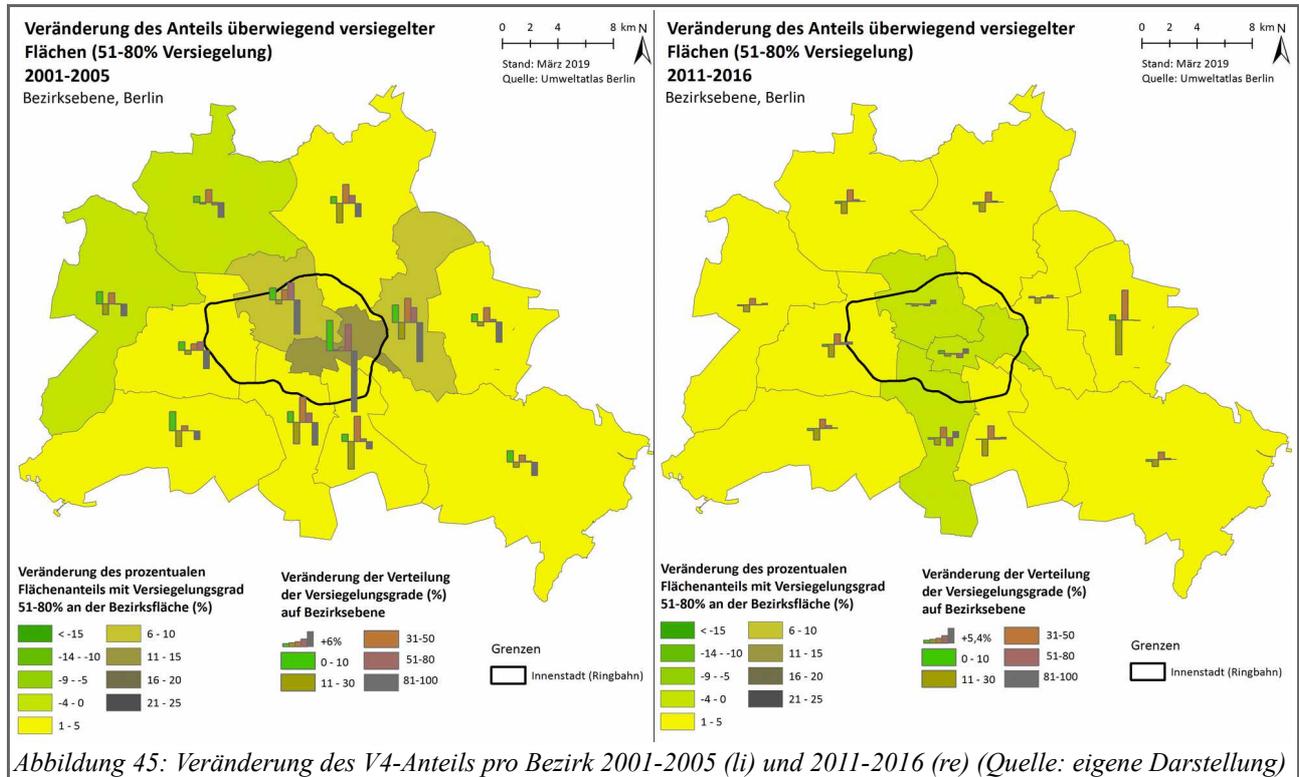


Abbildung 44: Veränderung des V4-Anteils pro Hexagon 2001-2005 (oben li) und 2011-2016 (oben re), pro Pie 2001-2005 (unten) (Quelle: eigene Darstellung)

Auf Bezirksebene zeigt sich die Zunahme des V4-Anteils zwischen 2001 und 2005 vor allem in Friedrichshain-Kreuzberg, Mitte und Lichtenberg bei gleichzeitiger Abnahme des V5-Anteils (siehe Abbildung 45, links). Außer in Reinickendorf und Spandau ist die Tendenz jedoch in allen anderen Bezirken leicht steigend. Auch in den Zeiträumen 2005 bis 2011 und 2011 bis 2016 bleibt dieser Trend zu einem zunehmenden V4-Anteil bestehen (siehe Abbildung 45, rechts & Anhang Abbil-

dung XXII, oben rechts). Nur die innerstädtischen Bezirke und teilweise Reinickendorf bleiben konstant bzw. verzeichnen einen leicht abnehmenden V4-Anteil.



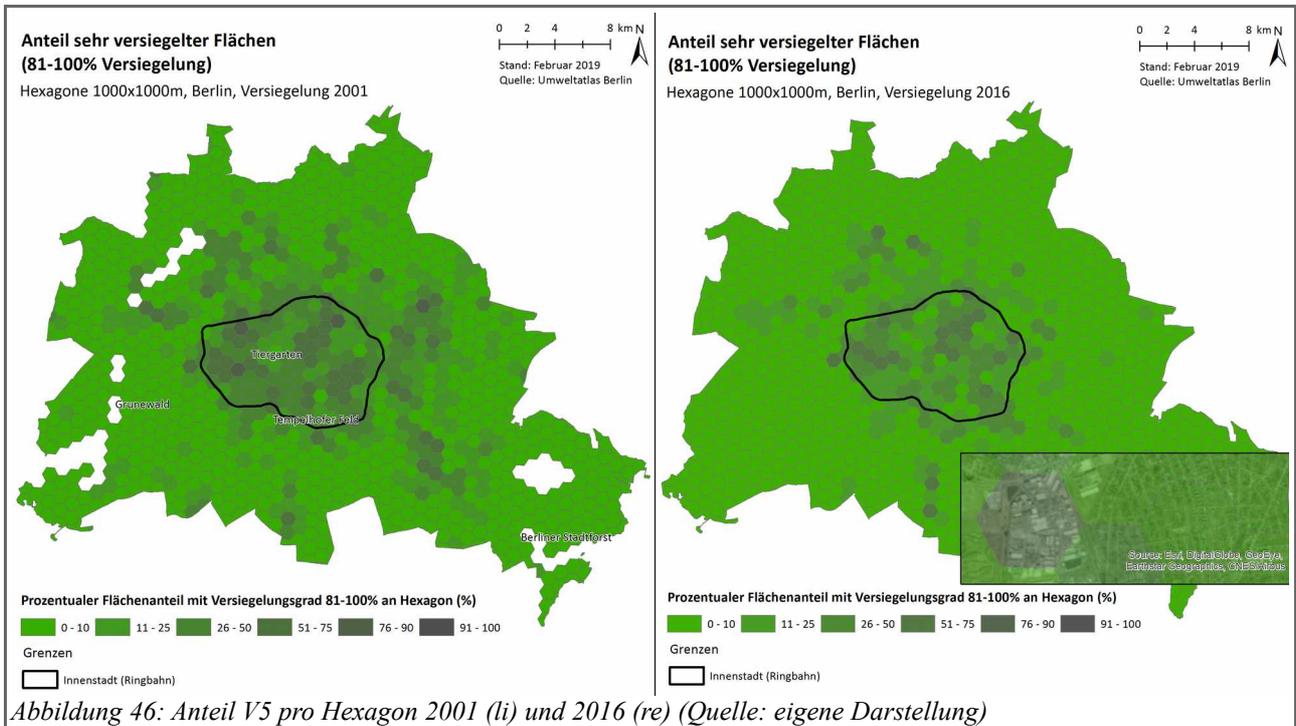
Die Untersuchung auf Stadtteilebene macht deutlich, dass der einzige innerstädtische Stadtteil, dessen V4-Anteil im Gesamtzeitraum 2001 bis 2016 abnimmt, Berlin-Mitte ist (siehe Anhang Abbildung XXVII, unten links). Dies geschieht vor allem in den Jahren 2001 bis 2011. Der V4-Anteil nimmt im Zeitraum 2011 bis 2016 nur gering zu und in einigen Stadtteilen, wie Schöneberg, Tempelhof und Friedenau, eher ab (siehe Anhang Abbildung XXVII, unten rechts).

Insgesamt konnte für den V4-Anteil pro Zone festgestellt werden, dass die Bereiche in der Innenstadt, nahe gelegen an der Innenstadt und im Osten Berlins einen hohen V4-Anteil aufweisen. Die Tendenz zwischen 2001 und 2016 ist eher eine Zunahme des V4-Anteils, der häufig gleichzeitig mit einer Abnahme des V5-Anteils einhergeht, was als Entsiegelung bzw. Schaffen von kleinen Grünzonen zwischen den stark versiegelten Flächen, gedeutet werden kann. Gleichzeitig verzeichnen manche Gebiete auch eine Abnahme des V4-Anteils zwischen 2001 und 2016.

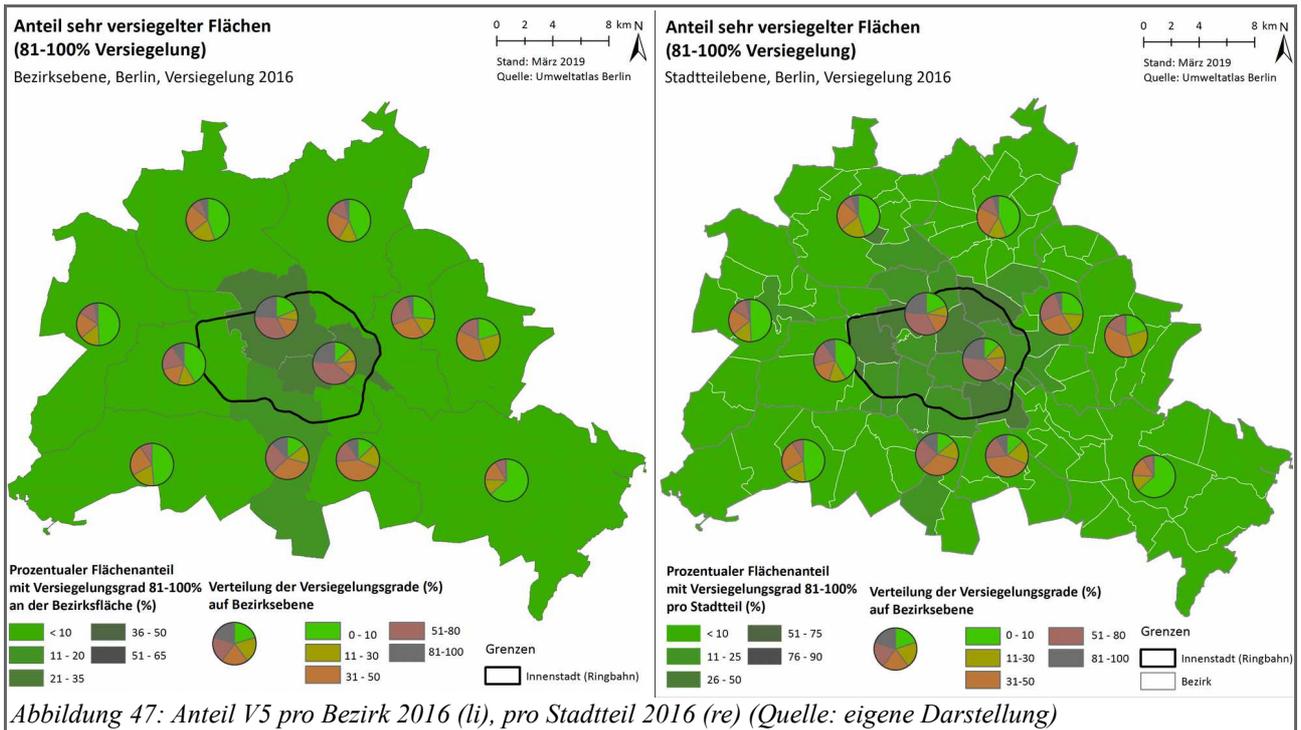
#### 4.2.5. Versiegelungsgrad V5, 81–100 Prozent Versiegelung

Zonen mit einem hohen Anteil sehr versiegelter Flächen sind eindeutig in der Innenstadt und teilweise in der Nähe der Innenstadt zu verorten. Dabei sind auf hexagonaler Ebene sowohl Grünflä-

chen, wie der Tiergarten, das Tempelhofer Feld, der Grunewald oder der Berliner Stadtforst, mit einem sehr geringen V5-Anteil, als auch stark versiegelte Bereiche, wie das Industriegebiet Motzener Straße im Süden, erkennbar (siehe Abbildung 46). Der V5-Anteil scheint sich im untersuchten Zeitraum auf hexagonaler Ebene besonders in den Bereichen außerhalb der Innenstadt zu verringern.



Auf Bezirksebene bleibt das Bild über die vier Zeitpunkte relativ konstant: Die Bezirke mit hohem V5-Anteil liegen auch hier in der Innenstadt und betreffen vor allem Friedrichshain-Kreuzberg und Mitte sowie teilweise Tempelhof-Schöneberg (siehe Abbildung 47, links). Auch auf Stadtteilebene zeigt sich die klare Konzentration des hohen V5-Anteils in der Innenstadt (siehe Abbildung 47, rechts).



Die Untersuchung auf Piebebene ergibt für den V5-Anteil keine aussagekräftigen Erkenntnisse, da keine Tendenzen eines hohen V5-Anteils in einer bestimmten Himmelsrichtung ausgemacht werden können (siehe Anhang Abbildung XXVIII, oben). Dies lässt sich mit der Konzentration der besonders hohen Versiegelung in der Innenstadt erklären.

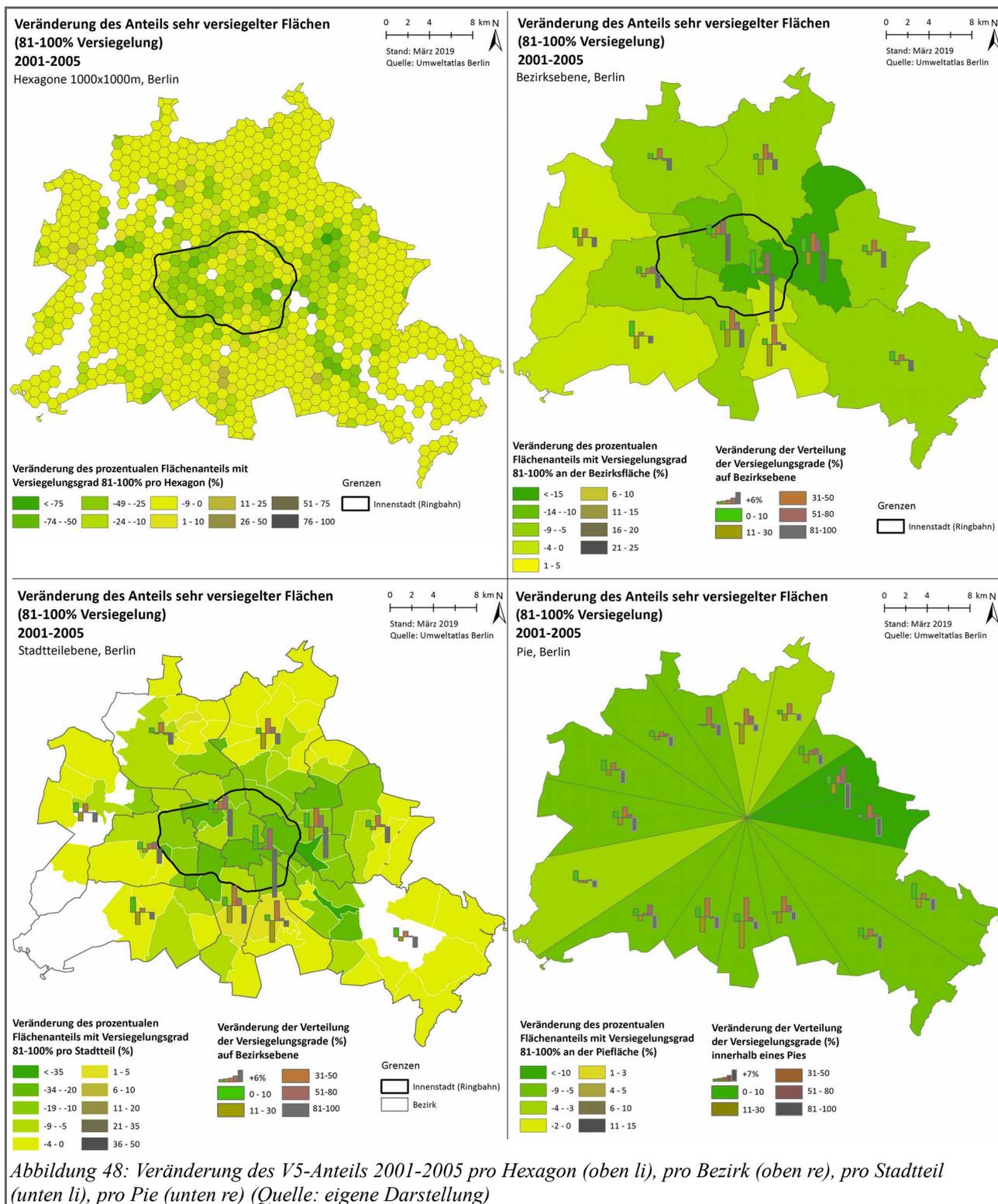


Abbildung 48: Veränderung des V5-Anteils 2001-2005 pro Hexagon (oben li), pro Bezirk (oben re), pro Stadtteil (unten li), pro Pie (unten re) (Quelle: eigene Darstellung)

Die Veränderungskarten bestätigen, dass der V5-Anteil in innerstädtischen, nahe der Innenstadt gelegenen und östlichen Zonen (siehe Pieebene) im Zeitraum 2001 bis 2005 drastisch abnimmt (siehe Abbildung 48). Auf Bezirksebene betrifft dies vor allem Friedrichshain-Kreuzberg und Lichtenberg. Zuvor wurde in diesen Zonen eine Zunahme des V4-Anteils konstatiert.

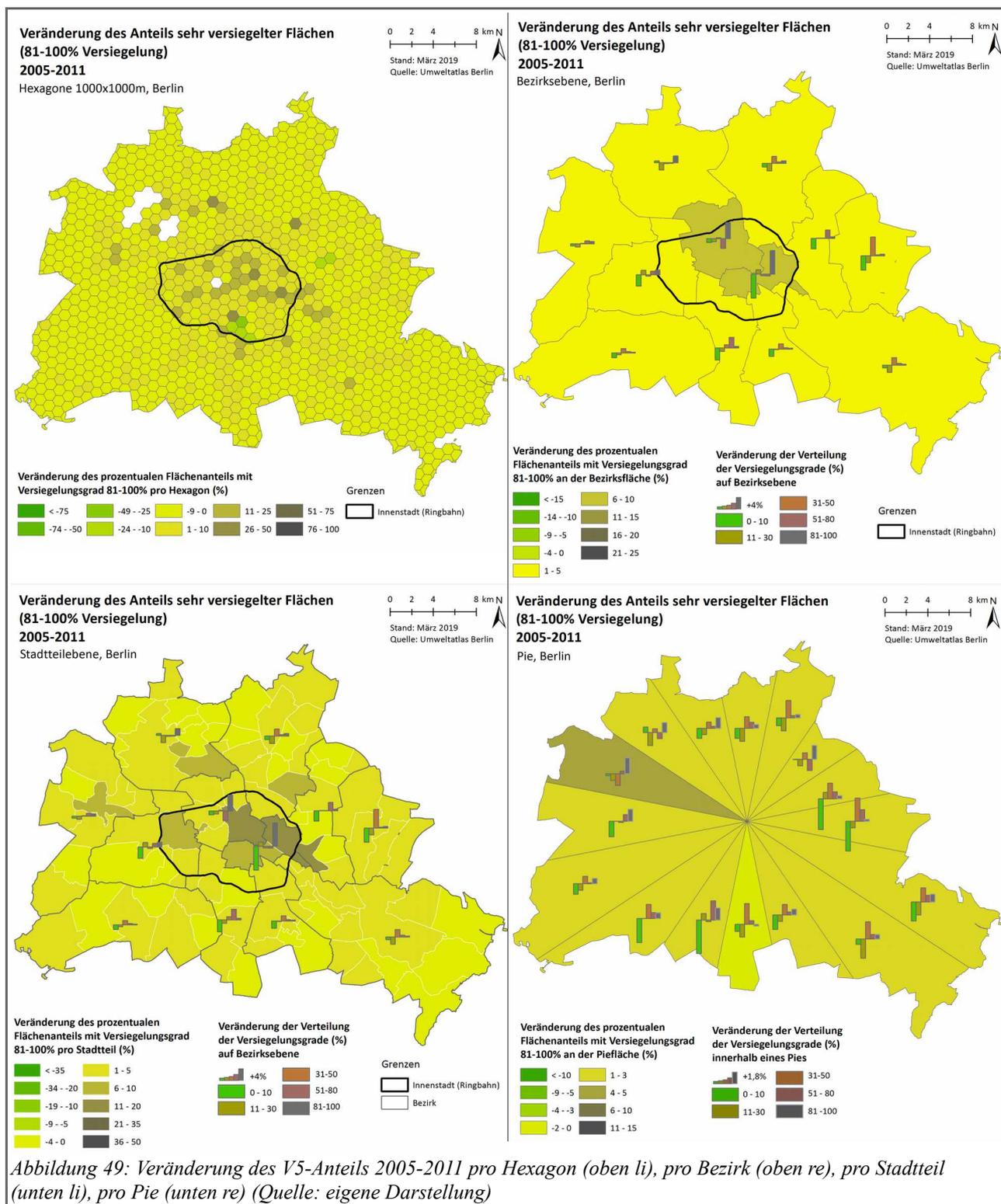
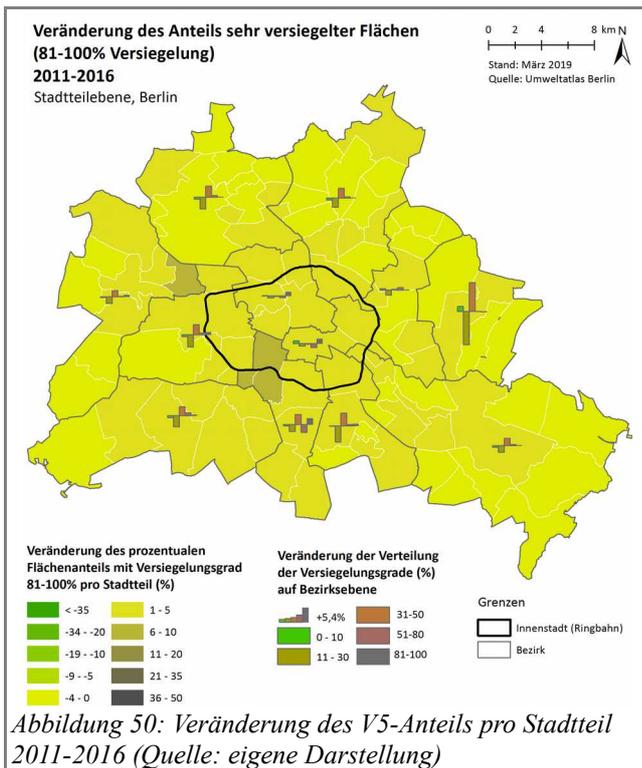


Abbildung 49: Veränderung des V5-Anteils 2005-2011 pro Hexagon (oben li), pro Bezirk (oben re), pro Stadtteil (unten li), pro Pie (unten re) (Quelle: eigene Darstellung)

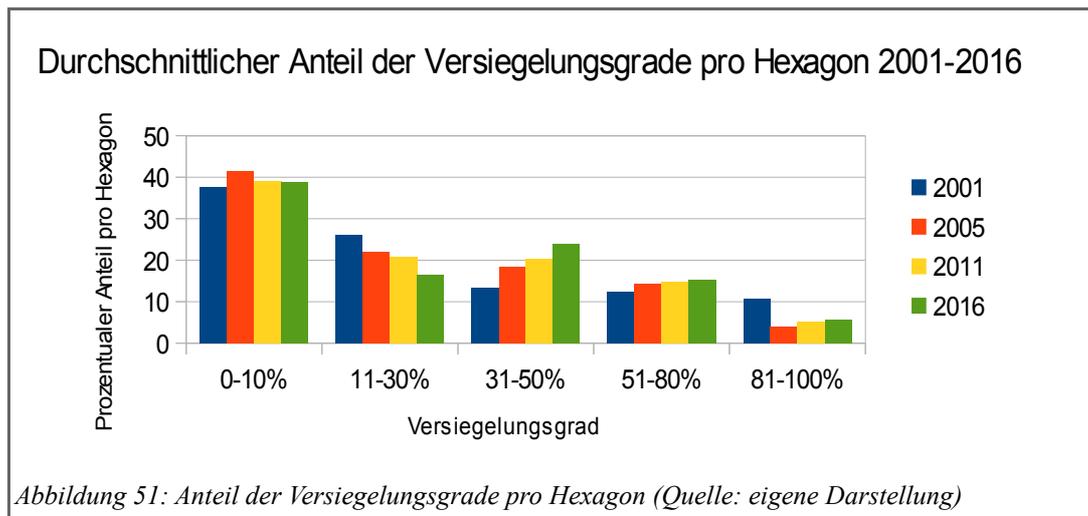
Im Zeitraum 2005 bis 2011 nimmt der V5-Anteil, neben einer tendenziellen Abnahme in der Innenstadt und einzelnen Hexagonen außerhalb der Innenstadt, wieder zu (siehe Abbildung 49, oben links). Eine Zunahme des V5-Anteils ist auf Pieebene außerdem in nordwestlicher Richtung erkennbar (siehe Abbildung 49, unten rechts).

Auf Bezirksebene ist die Tendenz in diesem Zeitraum leicht zunehmend bzw. besonders stark zunehmend in den innerstädtischen Bezirken Mitte und Friedrichshain-Kreuzberg (Stadtteile: Mitte, Friedrichshain und Rummelsburg) (siehe Abbildung 49, oben rechts). In Berlin-Mitte ist eine gleichzeitige Abnahme des V4-Anteils zu verzeichnen, was auf eine zunehmende Versiegelung zuvor bereits überwiegend versiegelter Flächen schließen lässt. In Friedrichshain-Kreuzberg geht der zunehmende V5-Anteil sogar mit einem stark abnehmenden V1-Anteil einher. Hier kann von einer Versiegelung ehemaliger Grünflächen gesprochen werden.



Im Zeitraum 2011 bis 2016 gibt es auf hexagonaler Ebene keine starken Veränderungen des V5-Anteils (siehe Anhang Abbildung XXVIII, unten links). Auf Bezirksebene ist die Tendenz überall, außer für den Bezirk Marzahn-Hellersdorf, leicht zunehmend (siehe Anhang Abbildung XXVIII, unten rechts). Dort bleibt der Anteil relativ konstant bzw. nimmt leicht ab. Dies kann auf den Rückbau durch das Programm *Stadtumbau Ost* zurückgeführt werden. Wird die Stadtteilebene betrachtet, zeigt sich, dass der V5-Anteil in Friedenau und Schöneberg als innerstädtische Stadtteile zunimmt (siehe Abbildung 50).

Bei der Analyse des V5-Anteils innerhalb bestimmter Zonen zeigt sich die stärkste Konzentration in der Innenstadt, was mit der dichten Bebauung in der Mitte der Stadt zu erklären ist. Eine Abnahme des V5-Anteils ist zwischen 2001 und 2005 deutlich erkennbar. Hier kann Entsiegelung angenommen werden. Eine Zunahme des V5-Anteils, vor allem in der Innenstadt, ist im Zeitraum 2005 bis 2011 feststellbar. Zwischen 2011 und 2016 ist die Tendenz weiterhin zunehmend, starke Zunahmen konnten jedoch nur auf Stadtteilebene identifiziert werden.



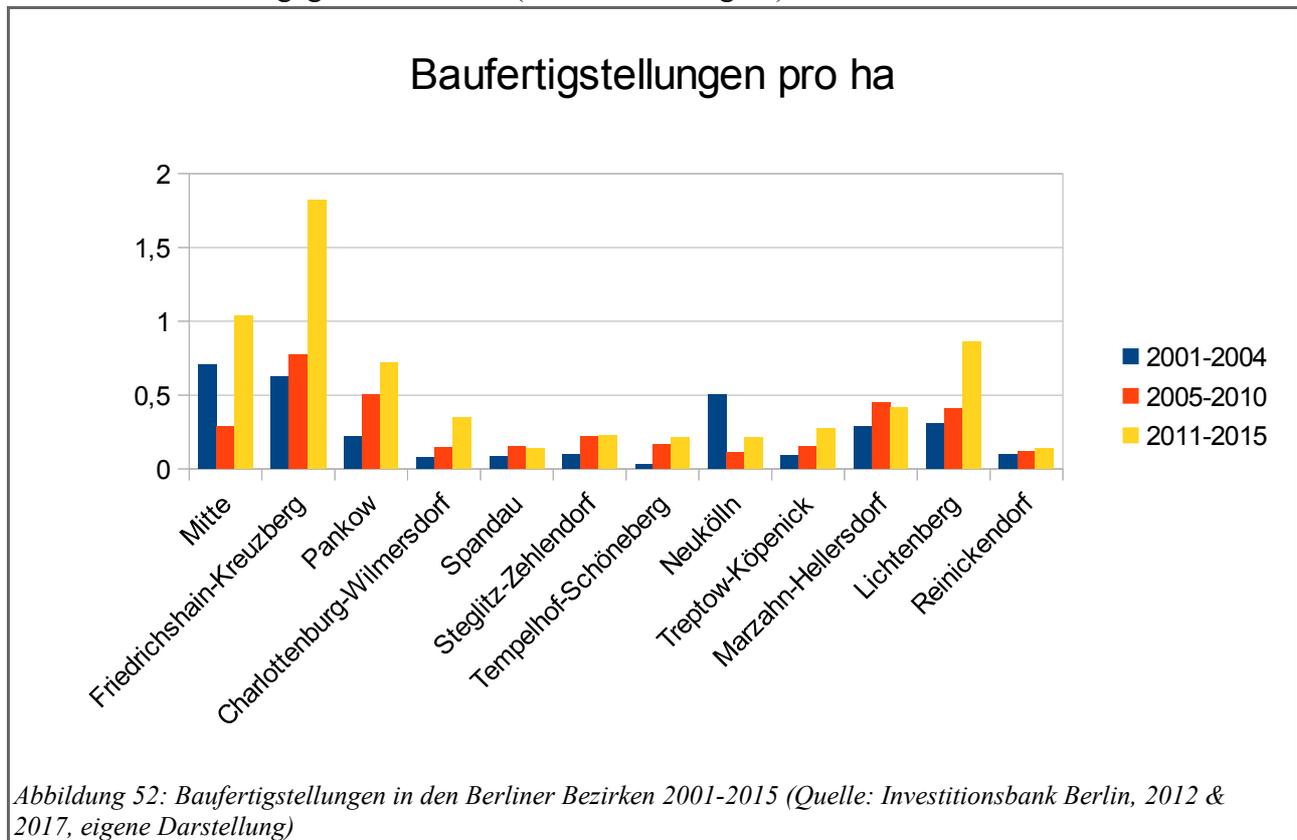
Wird abschließend der durchschnittliche Anteil der Versiegelungsgrade pro Hexagon für die vier Zeitpunkte betrachtet, bestätigt sich, dass dieser für V1 am höchsten liegt (siehe Abbildung 51). Am geringsten fällt der durchschnittliche V1-Anteil im Jahr 2001 aus und erreicht seinen Höhepunkt im Jahr 2005. Das Histogramm zeigt somit keine merkliche Abnahme des V1-Anteils zwischen 2001 und 2016. Der durchschnittliche Anteil des Versiegelungsgrads mit einer Versiegelung von 11–30 Prozent pro Hexagon nimmt hingegen von 2001 bis 2016 deutlich ab. Auch die bereits früher festgestellte Zunahme des V3-Anteils zu Lasten des V2-Anteils wird in obenstehender Grafik bestätigt: Der durchschnittliche V3-Anteil pro Hexagon nimmt von 2001 bis 2016 kontinuierlich zu. Eine Zunahme, wenn auch eine wesentlich geringere, verzeichnet ebenfalls der durchschnittliche V4-Anteil pro Zone. Dies bestätigt bereits frühere Erkenntnisse in Zusammenhang mit der Entwicklung des durchschnittlichen V5-Anteils. Dieser ist im Jahr 2001 verhältnismäßig hoch, sinkt 2005 drastisch ab und hat dann eine leicht steigende Tendenz. Diese Abnahme des V5-Anteils lässt sich mit der Zunahme des V4-Anteils begründen und auf punktuelle Entsiegelung zurückführen.<sup>2</sup>

#### 4.2.6. Ergebnisse Area Metrics

Zwischen 2001 und 2016 lässt sich insgesamt in der Stadt Berlin eine zunehmende Versiegelung feststellen, die jedoch kaum zu Lasten des V1-Anteils, sondern vor allem des V2-Anteils stattfindet. Große Grünräume und Parks werden somit erhalten, während kleinere Grünflächen zunehmend verschwinden. Gleichzeitig scheint es, dass der hohe V5-Anteil im Jahr 2001 zu Lasten eines leicht steigenden V4-Anteils in den folgenden Jahren abnimmt. Dies lässt auf Entsiegelungsmaßnahmen und das Schaffen kleiner Grünflächen innerhalb sehr versiegelter Zonen schließen.

<sup>2</sup> Die Grafiken des durchschnittlichen Anteils der Versiegelungsgrade pro Zone anderer statistischer Layer ähneln der obigen Grafik in Bezug auf die Verteilung und Entwicklung und werden deswegen nicht aufgeführt.

Die Entwicklung der Versiegelungsgrade auf Bezirksebene kann mit den Bautätigkeiten in den Jahren 2001 bis 2015 abgeglichen werden (siehe Abbildung 52).

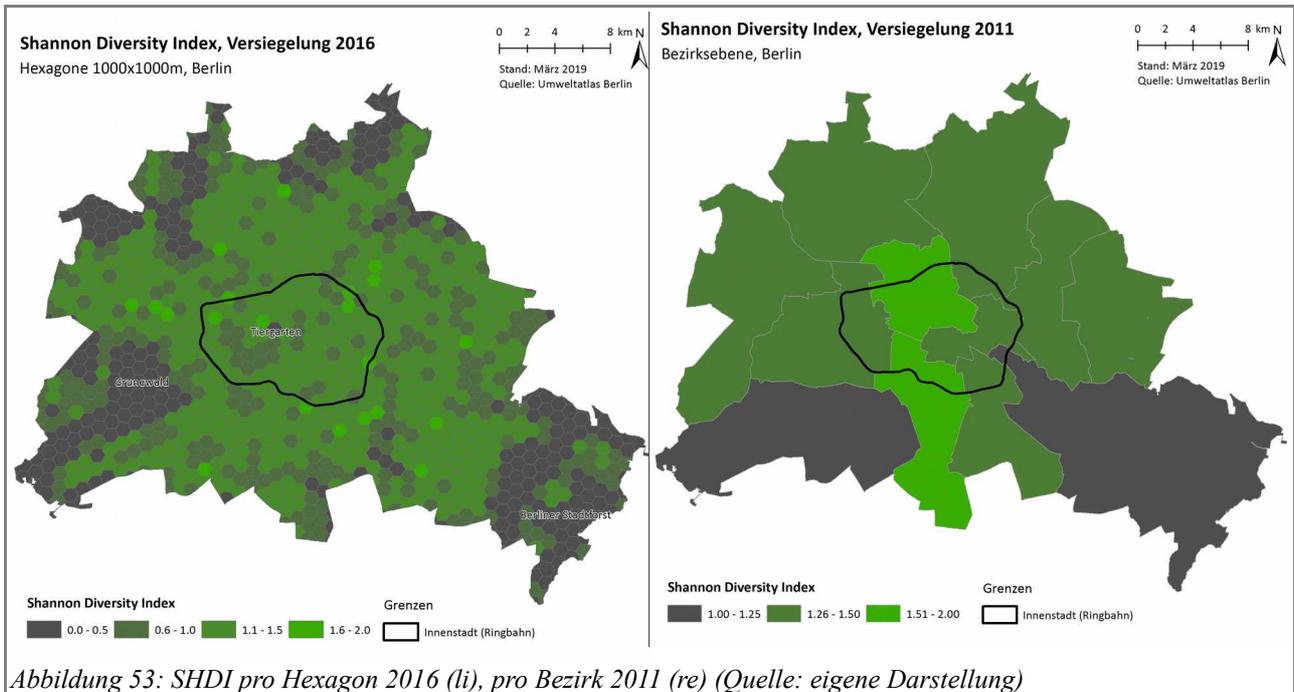


Aufgrund der flächenmäßig unterschiedlich großen Bezirke wurden die Baufertigstellungen pro Hektar berechnet, um Vergleiche treffen zu können. Dabei zeigt sich, dass in den innerstädtischen Bezirken Mitte und Friedrichshain eine rege Bautätigkeit in den Jahren 2001 bis 2015 stattgefunden hat. Diesem Trend folgen östlich und nordöstlich gelegene Bezirke wie Pankow, Lichtenberg oder Marzahn-Hellersdorf. Insgesamt bestätigen die Baufertigstellungen frühere Erkenntnisse: In Mitte und Friedrichshain nimmt der V5-Anteil beispielsweise zu, in Neukölln nimmt der V2-Anteil insbesondere zwischen 2001 und 2005 stark ab. Die Baufertigstellungen ermöglichen einen groben Abgleich mit den Ergebnissen, können jedoch nicht nur als zunehmende Versiegelung interpretiert werden. Die rege Bautätigkeit in den östlichen Bezirken ist beispielsweise auf das Förderprogramm *Stadtumbau Ost* zurückzuführen, welches jedoch Rückbau und damit auch Entsiegelung bzw. das Schaffen kleiner Grünflächen im Fokus hat und zudem neuen attraktiven Wohnraum schafft.

Dennoch ist es alarmierend, dass die innerstädtischen Bezirke trotz ihrer bereits hohen Bebauungsdichte noch immer diejenigen Bezirke sind, die die meisten Baufertigstellungen pro Hektar verzeichnen. Die festgestellte zunehmende Versiegelung im innerstädtischen Bereich kann damit eindeutig bestätigt werden.

### 4.3. Ergebnisse: Shannon-Diversity-Index

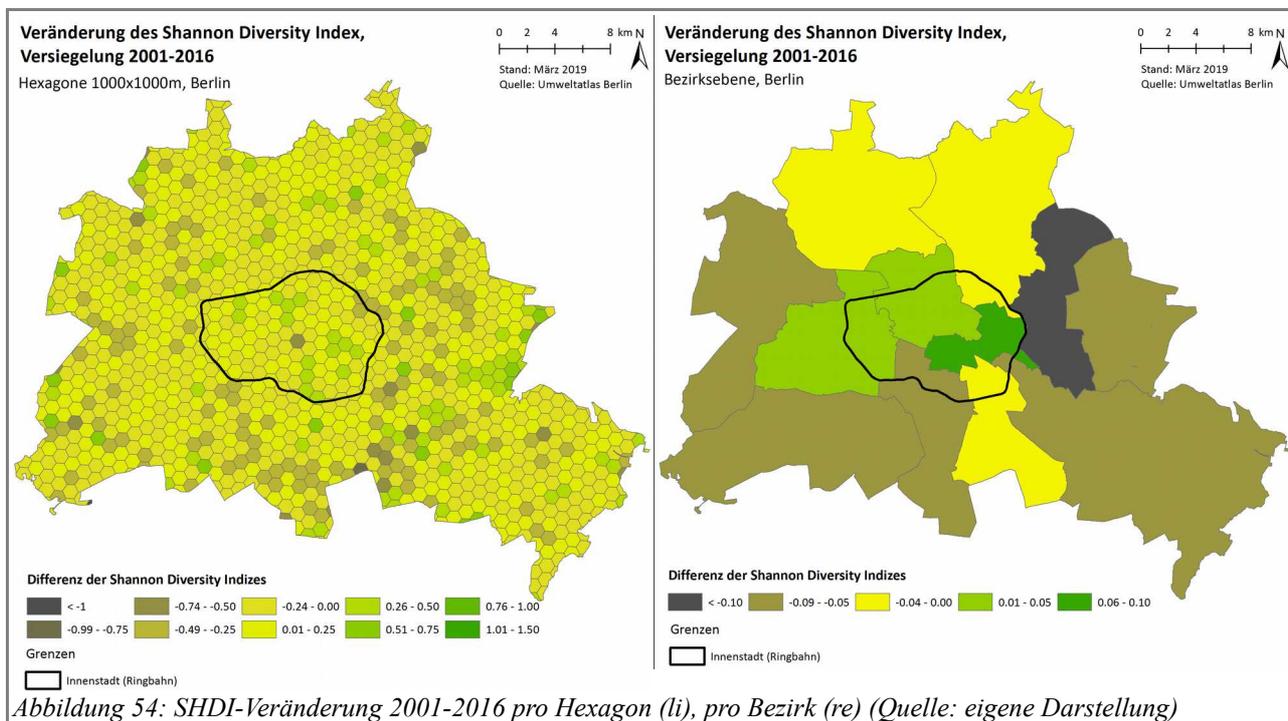
Der Shannon-Diversity-Index (SHDI) gibt die Vielfalt des Vorkommens verschiedener Versiegelungsgrade innerhalb einer Zone an. Je höher der Index, desto höher die Vielfalt, desto erfolgreicher kann die *doppelte Innenentwicklung* bewertet werden, wenn sehr versiegelte Flächen neben Grünflächen und dazwischen liegenden Bodenbeschaffenheiten existieren können.



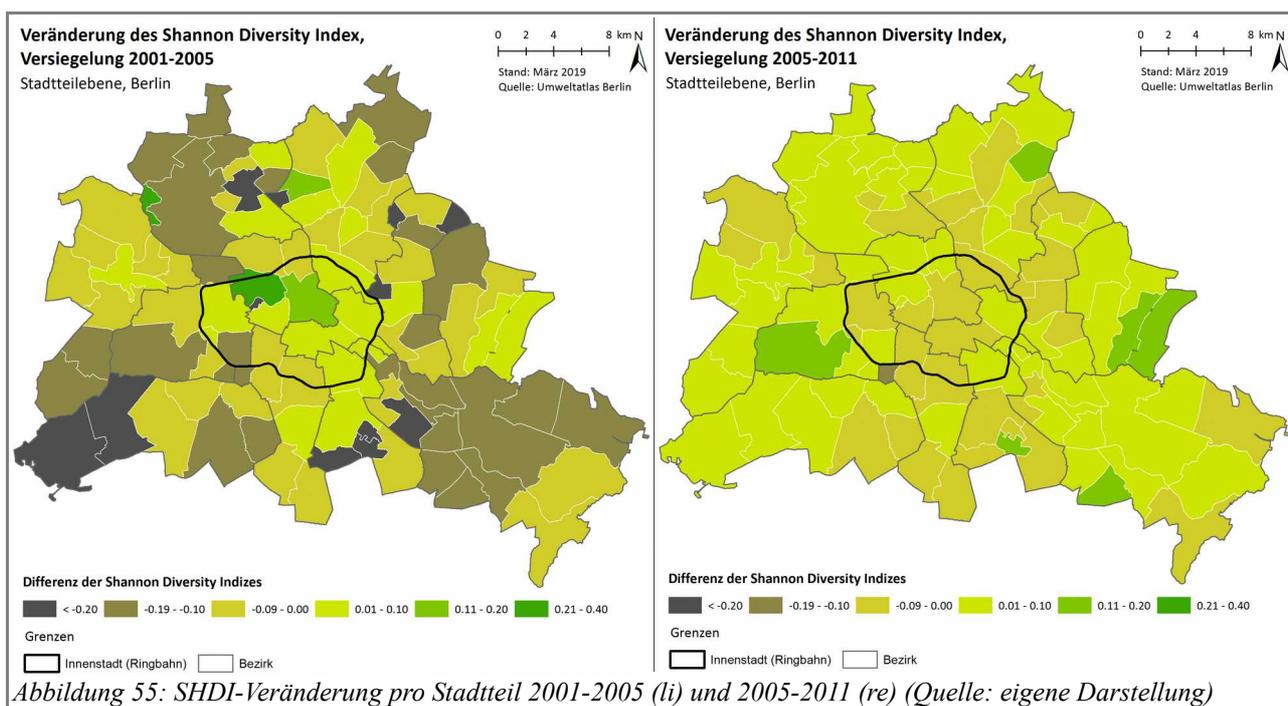
Die SHDI-Analyse zeigt einerseits, dass große Grünräume, wie der Grunewald, der Berliner Stadtforst oder der innerstädtisch gelegene Tiergarten einen sehr niedrigen SHDI aufgrund ihres sehr hohen V1-Anteils aufweisen (siehe Abbildung 53, links). Gleichzeitig verzeichnen die innerstädtischen Zonen, wie beispielsweise die Bezirke Mitte und Tempelhof-Schöneberg, den höchsten SHDI (siehe Abbildung 53, rechts). Insbesondere auf Stadtteilebene wird deutlich, dass der SHDI in der Mitte Berlins am höchsten ist und tendenziell zum Stadtrand hin abnimmt. Diese Verteilung besteht zu allen vier untersuchten Zeitpunkten (siehe Anhang Abbildung XXIX, unten links). Auf Pieebene ist keine Systematik des SHDI in den verschiedenen Himmelsrichtungen erkennbar (siehe Anhang Abbildung XXIX, oben).

Die Veränderungskarten des SHDI machen deutlich, dass der Index im Gesamtzeitraum außerhalb der Innenstadt in einigen Zonen deutlich abnimmt, in anderen zunimmt (siehe Abbildung 54). In der Innenstadt ist überwiegend ein steigender SHDI feststellbar. Insbesondere im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg, aber auch in Mitte und Charlottenburg-Wilmersdorf steigt der SHDI in diesem Zeit-

raum, während die Vielfalt an Versiegelungsgraden in Lichtenberg abnimmt. Die restlichen, außerhalb der Innenstadt gelegenen Bezirke verzeichnen die Tendenz zu einem sinkenden SHDI.



Insbesondere auf Stadtteilebene ergibt sich unter Betrachtung der einzelnen Zeiträume ein differenzierteres Bild. Es wird bestätigt, dass zwischen 2001 und 2005 die innerstädtischen Stadtteile überwiegend einen steigenden SHDI verzeichnen, während die Randstadtteile einen sinkenden SHDI aufweisen (siehe Abbildung 55, links). Zwischen 2005 und 2011 bleibt der SHDI in der Innenstadt

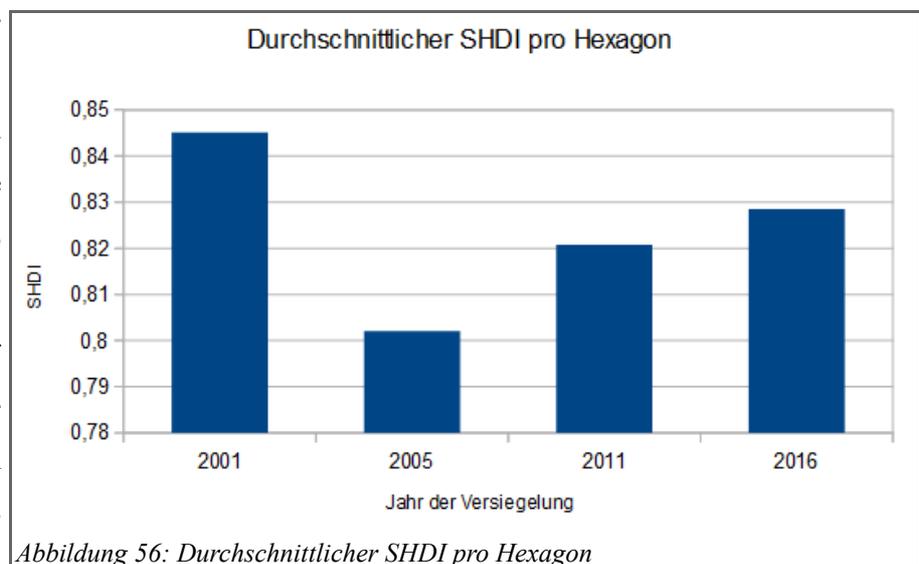


überwiegend konstant (siehe Abbildung 55, rechts). In dem innenstadtnahen Friedenau sinkt er, jedoch in anderen Stadtteilen, wie Grunewald, Mahlsdorf, Kaulsdorf, Karow, Bohnsdorf und Gropius-Stadt, nimmt der SHDI und damit die Vielfalt an Versiegelungsgraden zu. Auch zwischen 2011 und 2016 bleibt der SHDI in der Innenstadt relativ konstant. Halensee und Falkenberg verzeichnen einen sinkenden SHDI, die Stadtteile Frohnau, Karow, Friedenau, Alt-Treptow und Siemensstadt haben 2016 einen höheren SHDI als 2011 (siehe Anhang Abbildung XXIX, unten rechts).

Insgesamt kann festgehalten werden, dass der SHDI in der Innenstadt relativ hoch ist und zum Stadtrand hin zunehmend abnimmt. Dies begründet sich in der Struktur der dicht besiedelten Innenstadt, die sich in einer hohen Diversität an Versiegelungsgraden widerspiegelt. Richtung Stadtrand hin nehmen Grünflächen zu, stark versiegelte Flächen sind dort jedoch nicht vorhanden und damit ist auch die Diversität geringer. Im Zeitraum 2001 und 2016 ist der SHDI in der Innenstadt relativ konstant geblieben und hat eher eine steigende als sinkende Tendenz. Veränderungen des SHDI sind vor allem außerhalb der Innenstadt feststellbar, haben insgesamt eher eine sinkende, jedoch punktuell auch steigende Tendenz.

Unter Betrachtung der Veränderung des durchschnittlichen SHDI pro Hexagon im Zeitraum 2001

bis 2016 zeigt sich, dass dieser 2001 am höchsten ist, bis 2005 stark abfällt und anschließend wieder eine steigende Tendenz bis 2016 hat (siehe Abbildung 56). Der hohe SHDI im Jahr 2001 könnte unter Einbeziehung der bereits getroffenen Erkenntnisse am hohen V5-Anteil liegen, der ebenfalls bis 2005 stark abfällt.



## 5. Diskussion

Die Ergebnisse aus Kapitel 4. haben gezeigt, dass sich die fünf Versiegelungskategorien im Zeitraum 2001 bis 2016 unterschiedlich in Berlin entwickelt haben. Eine tendenzielle Zunahme an Bodenversiegelung konnte festgestellt werden. Dies führt zurück zur Forschungsfrage, wie sich Berlin aufgrund der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* in diesem Zeitraum verändert hat.

Grüne Flächen mit Versiegelungsgrad 0 bis 10 Prozent haben im Zeitraum 2001 und 2016 teilweise zu-, teilweise abgenommen, sind aber grundsätzlich relativ stabil geblieben. Insbesondere große Grünflächen, wie der Grunewald oder der Berliner Stadforst, aber auch innerstädtische, wie der Tiergarten, bleiben in allen Karten über den gesamten Zeitraum hin ersichtlich. Daraus kann abgeleitet werden, dass große Parks und Grünräume von der Stadtentwicklung geschützt werden und wenig der zunehmenden Versiegelung ausgesetzt sind.

Dies verhält sich jedoch anders bei Flächen mit einer Versiegelung von 11 bis 30 Prozent. Der Anteil dieser Flächen nimmt im Zeitraum 2001 bis 2016 deutlich ab. In sehr versiegelten Zonen der Stadt sind diese Flächen bereits 2001 nur gering vorhanden. Dementsprechend macht sich die Abnahme vor allem in weniger versiegelten Bereichen bemerkbar.

Ergebnis der Untersuchung der Versiegelungsgrade ist jedoch nicht nur die unterschiedliche Entwicklung der Versiegelungsgrade selbst, sondern auch, wie sich die einzelnen Versiegelungsgrade im Verhältnis zueinander entwickeln. Die Abnahme des Anteils an V2-Flächen geht dementsprechend mit einer deutlichen Zunahme des Anteils an Flächen mit einem Versiegelungsgrad von 31 bis 50 Prozent einher. Die gegenseitige Bedingung macht sich hier besonders bemerkbar, da auch der V3-Anteil in sehr versiegelten Bereichen bereits 2001 nur gering ist. Die deutliche Zunahme zeigt sich genau dort, wo der V2-Anteil abnimmt, nämlich in den weniger versiegelten Zonen der Stadt. Zonen, die 2001 wenig versiegelt waren, verzeichnen bis 2016 somit eine stetige leichte Zunahme an Versiegelung. Das Verschwinden kleiner Grünflächen sowie eine bauliche Verdichtung in diesen Zonen kann daraus abgeleitet werden.

Auch die Kategorien der stärker versiegelten Flächen bedingen sich in ihrer Entwicklung gegenseitig. Der Anteil an Flächen mit einem Versiegelungsgrad von 51 bis 80 Prozent nimmt tendenziell zu, wobei die stärkste Zunahme im Zeitraum 2001 bis 2005 zu verzeichnen ist. Davon betroffen sind vor allem städtische Zonen, die bereits 2001 einen hohen Anteil an starker Versiegelung aufweisen. Eine leichte Abnahme des V4-Anteils entsteht lediglich dort, wo der Anteil an sehr versie-

gelten Flächen mit einem Grad von 81 bis 100 Prozent steigt. Die Bereiche eines hohen V4- und eines hohen V5-Anteils decken sich. Auch der V5-Anteil hat im Zeitraum 2001 bis 2016 eine steigende Tendenz, auch wenn er zunächst zwischen 2001 und 2005 deutlich abnimmt. Diese Abnahme sehr versiegelter Flächen bis 2005 kann als Entsigelung in Bereichen, die 2001 eine hohe Versiegelung aufweisen, gedeutet werden. Anschließend lässt sich jedoch auch in diesen Zonen mit einem leicht zunehmenden V4- und einem leicht zunehmenden V5-Anteil eine vermehrte Versiegelung feststellen.

Dies zeigt, dass sich Bodenversiegelung und Grünflächen innerhalb räumlicher Zonen zwischen 2001 und 2016 im Verhältnis zueinander entwickeln. Dabei ist interessant, dass vor allem der V2- und der V3-Anteil in Korrelation zueinander in Bereichen, die bereits 2001 nicht stark versiegelt sind, stehen. Hier bedingt sich die Zu- und Abnahme gegenseitig, während eine Zunahme des V4- und des V5-Anteils gleichzeitig überwiegend in den Zonen stattfindet, die bereits 2001 stark versiegelt sind. Nur der Anteil an grünen Flächen mit einer Versiegelung von 0 bis 10 Prozent zeigt keine eindeutige zu- oder abnehmende Tendenz.

Wird von verschiedenen städtischen Bereichen und ihrer unterschiedlichen Entwicklung von Bodenversiegelung und Grünflächen gesprochen, stellt sich die Frage nach einer sich verändernden Stadtstruktur zwischen 2001 und 2016. Mithilfe der Untersuchung auf verschiedenen statistischen Ebenen konnte festgestellt werden, dass sich die unterschiedlichen Bereiche der Versiegelung mit entsprechender Entwicklung vor allem auf die Innenstadt, der Innenstadt nahe gelegenen und außerhalb der Innenstadt liegenden Zonen beziehen. Die Ergebnisse auf Pieebene sind nicht sehr ertragreich, was bestätigt, dass es keine klaren Veränderung der Stadtstruktur in bestimmte Himmelsrichtungen in diesem Zeitraum gibt. Es kann eine leichte Tendenz zunehmender Versiegelung in östlicher und südlicher Richtung mit einem geringen V1-Anteil verzeichnet werden.

Genauer bedeutet dies, dass bereits 2001 ein hoher Anteil an V4- und V5-Flächen in der Innenstadt besteht. Nimmt der Anteil sehr versiegelter Flächen bis 2005 in der Innenstadt zunächst ab, verzeichnen beide Versiegelungsgrade eine zunehmende Tendenz im innerstädtischen Bereich bis 2016. Die Innenstadt ist somit von zunehmender Versiegelung betroffen, was für die Strategie *Innenentwicklung vor Außenentwicklung* spricht. Die Abnahme des V5-Anteils im Zeitraum 2001 bis 2005 weist zudem auf Entsigelung in stark versiegelten Bereichen und gemeinsam mit dem Erhalt großer innerstädtischer Grünflächen, wie dem Tiergarten oder auch dem Tempelhofer Feld, auf ein Bewusstsein für das städtische Klima und die Gesundheit bei der hohen Bevölkerungsdichte

in der Innenstadt hin. Hypothese 1 ist damit bestätigt und es zeigt sich ein erstes Indiz für eine erfolgreiche Strategie der *doppelten Innenentwicklung* in Berlin.

Außerhalb der Innenstadt sind der V4- und der V5-Anteil bereits im Jahr 2001 gering. Im Gegensatz dazu verzeichnen die Versiegelungsgrade V1, V2 und V3 hier ihre höchsten Anteile. Der Anteil dieser drei Versiegelungsgrade bleibt in der Innenstadt zwischen 2001 und 2016 relativ konstant bzw. hat eine leicht abnehmende Tendenz entsprechend einer zunehmenden Versiegelung im Innenstadtbereich.

Die sich gegenseitig bedingende Entwicklung eines abnehmenden V2-Anteils und eines zunehmenden V3-Anteils bezieht sich somit auf die städtischen Bereiche außerhalb der Innenstadt, wenn auch vor allem auf die Bereiche, die der Innenstadt nahe gelegen sind. Werden die unmittelbaren Gebiete außerhalb des Berliner Rings zwar nicht mehr als Innenstadt bezeichnet, sind sie infrastrukturell immer noch sehr gut angebunden und ausgestattet. Diese Gebiete umfassen 2001 noch einige Grünflächen, die Anzahl nimmt jedoch bis 2016 tendenziell ab. Große Grünflächen werden jedoch auch hier erhalten. Obwohl die Innenstadt eine zunehmende Versiegelung erfährt, ist die Nachverdichtung dort nur begrenzt, insbesondere bei gleichzeitigem Grünflächen-Erhalt, möglich. Deswegen kommt es zur zunehmenden Versiegelung nahe der Innenstadt. Da mit „innen“ bestehende Siedlungs- und Verkehrsflächen in zusammenhängenden bebauten Gebieten verstanden werden, kann die Versiegelung in diesen Zonen noch der Strategie *Innenentwicklung vor Außenentwicklung* zugeordnet werden (Böhm *et al.*, 2016). Damit ist auch Hypothese 2 bestätigt.

Allgemein gestaltet sich die Entwicklung außerhalb der Innenstadt unterschiedlich. Hier macht sich auch zuvor erwähnte Tendenz einer V1-Abnahme östlich und südlich der Innenstadt bemerkbar. Dies ist besonders gut auf Bezirksebene feststellbar. In den östlichen und südlichen Bezirken außerhalb der Innenstadt ist der V1-Anteil bereits im Jahr 2001 gering und nimmt tendenziell bis 2016 ab. Vor allem die südlichen Bezirke weisen einen hohen V3- und V4-Anteil auf. Der südliche Bezirk Neukölln ist beispielsweise stark von der V2-Abnahme mit gleichzeitiger V3- und teilweise auch V4-Zunahme betroffen. Der östliche Bezirk Lichtenberg hingegen weist eine Abnahme des V5-Anteils und Zunahme des V4-Anteils zwischen 2001 und 2016 auf. Deutlich ist bei der Analyse der städtischen Bezirke jedoch, dass die Randbezirke an der städtischen Grenze nur minimal von den zunehmenden Versiegelungstendenzen in Berlin betroffen sind. Dies weist ebenso auf eine gelungene Strategie der *doppelten Innenentwicklung* hin und damit kann auch Hypothese 3 bestätigt werden. Der Bezirk mit der stärksten Zunahme ist der innerstädtisch gelegene Bezirk Mitte, der eine

deutliche Abnahme des V4- und gleichzeitig deutliche Zunahme des V5-Anteils zwischen 2001 und 2016 aufweist, was sich mit einer regen Bautätigkeit in diesem Zeitraum deckt.

Der Bestätigung aller drei Hypothesen entsprechend kann auf Basis der in dieser Arbeit dargelegten Analysen von einer gelungenen Strategie der *doppelten Innenentwicklung* gesprochen werden. Im Sinne des Nachhaltigkeitsdreiecks wird jedoch auch bestätigt, dass die *doppelte Innenentwicklung* in Berlin zwischen 2001 und 2016 zugunsten der Verdichtung im Sinne des ökonomischen und sozialen Drucks ausfällt. Insbesondere erschreckend ist die Entwicklung im Bezirk Mitte, wo die durchschnittliche Einwohnerdichte doppelt so hoch ist wie in der Gesamtstadt (Böhm *et al.*, 2016). Zur Vermeidung weiterer Hitzeinseln, zur Senkung der Sterblichkeitsrate und zum Erhalt einer guten städtischen Lebensqualität sollte insbesondere in dicht bebauten Innenstädten eine weitere Bodenversiegelung vermieden werden (Dugord *et al.*, 2014). Die Zunahme des Anteils des höchsten Versiegelungsgrads im am dichtest besiedelten Bezirk Berlins zwischen 2001 und 2016 widerspricht der Erfüllung dieser Notwendigkeit.

Auf allen statistischen Ebenen sind die großen Grünräume Berlins erkennbar. Dabei wurde auch ersichtlich, dass diese vor allem außerhalb der Innenstadt bzw. am Stadtrand, wie der Grunewald oder der Berliner Stadforst, liegen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2013). Innerstädtisch waren nur auf hexagonaler Ebene der Tiergarten und das Tempelhofer Feld mit einem hohen V1-Anteil deutlich zu erkennen. Die geringe Anzahl an zur Verfügung stehenden Grünflächen in der verdichteten Innenstadt, die das Grünflächenversorgungsziel nicht erfüllt, kann in den Karten der Berechnungsergebnisse bestätigt werden (Kabisch, 2015). Zugleich waren in der Analyse jedoch keine Reduzierungen der großen innerstädtischen Grünflächen zugunsten der zunehmenden Versiegelung erkennbar. Dies spricht wiederum für die Berliner Stadtentwicklung bzw. eine sinnvolle Nutzung der innerstädtischen Flächenreserven (Böhm *et al.*, 2016). Innerstädtische Grünflächen können eine Wärmeinseln entgegenwirkende Funktion haben, sofern sie eine bestimmte Größe und Vegetationsbedeckung aufweisen (ebd.). Auch für die Erfüllung der Multifunktionalität ist eine bestimmte Größe der urbanen Grünflächen unabdingbar (ebd.). Die Analysen in dieser Arbeit hatten zum Ziel, vor allem die Entwicklung der Bodenversiegelung zu erfassen und weniger den Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bewerten. Grünflächen sind dementsprechend nur erkennbar, wenn sie einen hohen Anteil einer bestimmten Zone einnehmen. Für weitere Analysen einer lebenswerten Berliner Innenstadt würde es einer genaueren Betrachtung innerstädtischer Grünflächen sowie deren Größe und Vegetation bedürfen, um kritische Zonen zu verorten und

entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können. Die kritischen Bereiche könnten zudem als einzelne Zonen in die Berechnung eingehen und nochmal im Spezielleren untersucht werden.

Die kleinste statistische Ebene in dieser Arbeit ist jene der Hexagone mit einem Durchmesser von 1.000 Metern. Dieser Durchmesser orientiert sich an dem Berliner Ziel, wohnungsnahen Grünraum in 500 Metern erreichen zu können (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin, 2017). Ein hoher SHDI in der Innenstadt zeigt, dass es in den einzelnen Zonen nicht nur einen hohen Anteil sehr versiegelter Flächen gibt, sondern auch niedrigere Versiegelungsgrade vorhanden sein müssen. Die Größe und das tatsächliche Vorhandensein wohnortnaher Grünflächen kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Dafür würde es weiterer Untersuchungen auf noch kleinräumigerer Ebene bedürfen.

Dennoch ist es mithilfe der Methode der Zonal Metrics und den verschiedenen zonalen Ebenen gelungen, räumliche Muster und damit die Vernetzung städtischer Prozesse sichtbar zu machen. Durch die Darstellung des Anteils von Versiegelungsgraden innerhalb definierter Zonen anstatt auf Blockebene wird schnell ersichtlich, wo sich in der Stadt Gebiete mit hohen Versiegelungsgraden befinden und welchen Veränderungsprozessen diese unterliegen. Außerhalb der in dieser Arbeit verfolgten Analysen können daraus abgeleitete Karten bedeutende Hinweise für die Stadtentwicklung geben. Die Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten bietet zudem die Möglichkeit, Personen ohne GIS-Kompetenzen die Verteilung der Versiegelung in der Stadt durch Bildinterpretation einfach zu vermitteln. Dementsprechend handelt es sich nicht nur um ein Analyseinstrument, sondern auch um ein Kommunikationsmittel für die verwaltungsübergreifende Arbeit. Dies ist insofern von Bedeutung, dass die integrative Planung von kompakten und grünen Städten und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit unabdingbar für die erfolgreiche Umsetzung der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* sind (Artmann *et al.*, 2019).

Grundlage für die Anwendung von *Urban Metrics* zur Bestimmung und Verortung bestimmter Versiegelungsgrade in der Stadtentwicklung und der Darstellung der Veränderung von Bodenversiegelung ist eine einheitliche und genaue Datenbasis über verschiedene Zeiträume hinweg. Hierbei soll nochmal auf die in Kapitel 3.4.4. Limitationen beschriebene Problematik eingegangen werden. Da die Erfassung der Versiegelungsdaten der Stadt Berlin laufend verbessert wird und deswegen die Ausgabe der Datensätze zu den vier Untersuchungszeitpunkten 2001, 2005, 2011 und 2016 geändert wurde, entstehen Vergleichsschwierigkeiten zwischen den Datensätzen. Dies wurde durch die Ermittlung von Leerzonen, Berechnung relativer Anteile und Ausgrenzung bestimmter Zonen für die Analyse versucht auszugleichen. Entsprechende Validierungen haben die Validität der Analysen

gezeigt. Dennoch gilt es, die Datenvergleiche unter Vorbehalt zu verstehen. Insbesondere der Datensatz von 2001 wurde anders erfasst als diejenigen zu späteren Zeitpunkten. Entsprechend wurde der enormen Abnahme des Anteils sehr versiegelter Flächen im Zeitraum 2001 und 2005 nur geringer Raum in der Analyse eingeräumt und nicht zu hohe Bedeutung in den Ergebnissen und der Interpretation als Entsiegelungsmaßnahmen beigemessen. Die Analyse der Ist-Zustände zu den jeweiligen Zeitpunkten und die anhaltende Tendenz zunehmender Versiegelung im gesamten Zeitraum zwischen 2001 und 2016 und insbesondere zwischen 2005 und 2016 kann jedoch als deutliches Ergebnis dieser Arbeit gewertet werden. Für die Anwendung in der Stadtentwicklung sowie weiterführende Untersuchungen auf kleinräumigerer Ebene sind einheitliche Datensätze jedoch unabdingbar.

Eine weitere Schwachstelle in den Berechnungen wurde bei der Analyse des Shannon-Diversity-Index ersichtlich. Konnte grundsätzlich ein Bild eines niedrigen SHDI außerhalb der Innenstadt und vor allem in den Gebieten mit großen Grünräumen sowie ein hoher SHDI insbesondere in der Innenstadt festgestellt werden, hat sich dieser über den Zeitraum bis 2016 nicht wesentlich verändert. Da bei den Analysen des Largest-Patch-Index und der Area Metrics deutliche Veränderungen erkennbar sind, fällt die Interpretation der Ergebnisse der SHDI-Berechnungen schwer. Es kann damit keine Aussage über die parallele Existenz von Grünflächen und sehr versiegelter Flächen getroffen werden. Für die Analyse des SHDI müssten deswegen weitere Daten, eventuell der tatsächlichen Flächennutzung, in weiterführende Untersuchungen miteinbezogen werden.

Zudem wurden deutliche Unterschiede in der Aussagekraft der Ergebnisse auf den verschiedenen statistischen Ebenen festgestellt. Je großräumiger die Ebene, desto geringer die Veränderungen und damit einhergehende Aussagekraft der Ergebnisse. Insbesondere die Analysen auf Pieebene haben häufig keine Systematik der Veränderungen innerhalb der Pies erkennen lassen und wurden daher meist aus der Interpretation ausgeschlossen. Die grundsätzliche Berechnung auf verschiedenen statistischen, einheitlichen wie verwaltungstechnischen, Ebenen wird jedoch als sehr wertvoll erachtet. Neben der abweichenden Aussagekraft pro räumlicher Ebene dient die Berechnung auf mehreren Ebenen auch der Validierung.

Die Abbildung der Versiegelungsgrade in Berlin sowie die Veränderungen dieser war insgesamt erfolgreich und hat systematische Interpretationen über den Zeitraum 2001 bis 2016 zugelassen. Daraus können Hinweise auf eine erfolgreiche *doppelte Innenentwicklung* abgeleitet werden. Zur tatsächlichen Interpretation einer erfolgreichen Strategie der *doppelten Innenentwicklung* sind die reinen Analysen mithilfe von *Urban Metrics* jedoch nicht ausreichend. Aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Analysen konnten keine Abgleiche und weitere Untersuchungen mit Planungsin-

strumenten der Stadt Berlin, wie dem Bebauungsplan, dem Flächennutzungsplan oder des Berliner Landschaftspogramms (LaPro), durchgeführt werden.

Insbesondere die mithilfe von *Urban Metrics* festgestellte zunehmende Versiegelung in Berlin im Zeitraum 2001 bis 2016 macht weiterführende Untersuchungen unabdingbar. Die Stadt Berlin hat erkannt, dass bei Bauvorhaben in der Innenstadt Maßnahmen der Klimaanpassung notwendig sind (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c). Somit könnte neben der Veränderung der Versiegelung auch die Entwicklung von Maßnahmen, wie Gebäudebegrünung, Art der Bebauung oder bestimmter Anordnungen von Neubauten für bessere Luftaustauschprozesse in der Innenstadt, von besonderem Interesse sein.

Es konnte dennoch festgestellt werden, dass das zunehmende Bevölkerungswachstum in Berlin zu leichter und doch stetig steigender Versiegelung geführt hat. Dies betrifft insbesondere die Innenstadt, wobei für diese gleichzeitig hohe Temperaturen und Tropennächte zu verzeichnen sind (Dugord *et al.*, 2014). Weist Berlin auf gesamtstädtischer Ebene derzeit noch einen großen Anteil an Grünflächen auf, wird dieser auch in den kommenden Jahren immer mehr unter Druck geraten, wenn in Berlin bis ins Jahr 2030 mindestens 15.000 neue Wohnungen pro Jahr geschaffen werden müssen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016b). Zudem gelten die beiden Wetterextreme, Hitzeperioden und Starkregen, in Berlin als diejenigen klimabezogenen Herausforderungen, welche die urbane Lebensqualität insbesondere in der Innenstadt vermindern, und die Prognosen sagen eine weitere Zunahme dieser Extreme voraus (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016c).

Um dem Ziel einer „sozial gerechten, innovativen und umweltverträglichen Stadtentwicklung“ näher zu kommen und die Kompromisse zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen abwägen zu können, bedarf es neuer Analyseinstrumente für die Stadtentwicklung (Artmann *et al.*, 2019). Die Analyse, Verortung und Sichtbarmachung von Versiegelungsgraden innerhalb der Stadt mithilfe von *Urban Metrics* kann hierbei einen Beitrag leisten und in Form von Kartendarstellungen der Ergebnisse als bedeutendes Kommunikationsmittel dienen.

## 6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Vereinten Nationen benennen Städte als die wesentlichen Orte, wo Herausforderungen kumulieren und Lösungen für Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt und angewandt werden müssen. Ein Teil davon umfassen Klimaveränderungen in Städten durch unter anderem Wärmeinseleffekte, die aufgrund zunehmender Bodenversiegelung ausgelöst und verstärkt werden. Grünflächen können dieser Entwicklung entgegenwirken, die Schaffung solcher kann jedoch zusätzlichem Wohnraum für die stetig ansteigende Stadtbevölkerung und Raumknappheit entgegenstehen. Um nachhaltige Lösungen entwickeln zu können, bedarf es deswegen integrativer Ansätze, bei denen eine Nachhaltigkeitsdimension nicht zu Lasten einer anderen ausfällt, sondern diese zusammen gedacht und entwickelt werden. Eine solche Strategie ist die *doppelten Innenentwicklung*, für welche Berlin als Positivbeispiel gilt.

Diese Arbeit hat die Frage gestellt, inwiefern sich Berlin aufgrund dieser Strategie verändert hat. Mithilfe der Berechnungen von *Urban Metrics* auf verschiedenen räumlichen Ebenen wurde festgestellt, dass große Grünräume in Berlin erhalten werden, die Stadt jedoch gesamt eine leicht zunehmende Versiegelung erfährt. Diese findet vor allem in der Innenstadt, wo bereits eine hohe Bevölkerungsdichte herrscht, im Sinne von *Innen- vor Außenentwicklung* statt. Die Umsetzung der Strategie der *doppelten Innenentwicklung* kann demnach als gelungen interpretiert werden. Dennoch fällt die Verdichtung im Sinne des ökonomischen und sozialen Drucks aus und insbesondere der zunehmend verdichteten und versiegelten Innenstadt muss besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, um die Lebensqualität dort erhalten zu können.

Die Methode hat sich als funktionierendes Analyseinstrument zur Verortung sehr und weniger versiegelter Zonen in Berlin herausgestellt, die auch für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Stadtentwicklung unterstützend sein könnte. Als Schwachstelle wird vor allem die nicht ausreichende Bewertung von innerstädtischen Grünflächen aufgrund der Größe der gewählten Zonen benannt. Hierfür würde es weiterer Berechnungen und Untersuchungen nach entsprechenden Korrelationen bedürfen.

Da Städte weltweit sowohl zunehmend Wärmeinseleffekte als auch Tropennächte und eine abnehmende Lebensqualität in den Innenstädten bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum und damit einhergehenden Herausforderungen verzeichnen, wird dem in dieser Arbeit behandelten Thema große Brisanz beigemessen. Weitere Untersuchungen der Entwicklung von Grünflächen vs. Boden-

versiegelung sind unabdingbar, um Schwachstellen frühzeitig erkennen und Stadtentwicklungsmaßnahmen entsprechend ausrichten zu können. Damit einhergehen kann die Entwicklung weiterer Analyseinstrumente, die die Stadtentwicklung dabei unterstützen können, integrative Ansätze, wie die Strategie der *doppelten Innenentwicklung* umzusetzen.

## Literaturverzeichnis

- Adamczyk, J. & Tiede, D. (2017), ZonalMetrics – a Python toolbox for zonal landscape structure analysis, *Computers & Geosciences*, Vol. 99, S. 91–99.
- Adrian, L., Bock, S., Bunzel, A., Preuß, T. & Rakel, M. (2018), Instrumente zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme: Aktionsplan Flächensparen, *Umweltbundesalt TEXTE*, Vol. 38.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2018), *kleine berlin-statistik 2018*, Berlin/Brandenburg.
- Anguluri, R. & Narayanan, P. (2017), Role of green space in urban planning. Outlook towards smart cities, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 25, S. 58–65.
- Arandelovic, B. & Bogunovich, D. (2014), City profile. Berlin, *Cities*, Vol. 37, S. 1–26.
- Artmann, M. (2014), Institutional efficiency of urban soil sealing management – From raising awareness to better implementation of sustainable development in Germany, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 131, S. 83–95.
- Artmann, M. (2016), Urban gray vs. urban green vs. soil protection – Development of a systemic solution to soil sealing management on the example of Germany, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 59, S. 27–42.
- Artmann, M., Inostroza, L. & Fan, P. (2019a), From urban sprawl to compact green cities – advancing multi-scale and multi-dimensional analysis, *Ecological Indicators*, Vol. 96, S. 1–2.
- Artmann, M., Kohler, M., Meinel, G., Gan, J. & Ioja, I.-C. (2019b), How smart growth and green infrastructure can mutually support each other – A conceptual framework for compact and green cities, *Ecological Indicators*, Vol. 96, S. 10–22.
- Bezirksamt Reinickendorf von Berlin (2019), Der Ortsteil Borsigwalde, online unter URL: <https://www.berlin.de/ba-reinickendorf/ueber-den-bezirk/ortsteile/borsigwalde/> [Abruf: 2019-06-06]
- Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg von Berlin & Regioconsult (2007), *Tempelhof-Schöneberg: auch ein starkes Stück Industrie in Berlin*, Berlin.
- Böhm, J., Böhme, C., Bunzel, A., Kühnau, C., Landua, D. & Reinke, M. (2016), *Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung*, Bonn/Bad Godesberg.
- Breuste, J., Artmann, M., Li, J. & Xie, M. (2015), Special Issue on Green Infrastructure for Urban Sustainability, *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 141 No. 3, S. 1–5.
- Bundestransferstelle Stadtumbau Ost im Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS) (2012), *10 Jahre Stadtumbau Ost: Bericht aus der Praxis*, Berlin.
- Coppel, G. & Wüstemann, H. (2017), The impact of urban green space on health in Berlin, Germany: Empirical findings and implications for urban planning, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 167, S. 410–418.
- Creutzig, F., Baiocchi, G., Bierkandt, R., Pichler, P.-P. & Seto, K.C. (2015), Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 112 No. 20, S. 6283–6288.

- Deilmann, C., Lehmann, I., Behnisch, M., Hennersdorf, J. & Schumacher, U. (2016), A Multifactorial GIS-Based Analytical Method to Determine the Quality of Urban Green Space and Water Bodies, *Ecological Indicators*, Vol. 67.
- Deilmann, C., Lehmann, I., Schumacher, U. & Behnisch, M.(H.) (2017), Stadt im Spannungsfeld von Kompaktheit, Effizienz und Umweltqualität. Anwendungen urbaner Metrik, Berlin/Heidelberg.
- Deutscher Rat für Landespflege (2006), Freiraumqualitäten in der zukünftigen Stadtentwicklung, Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Vol. 78.
- Dugord, P.-A., Lauf, S., Schuster, C. & Kleinschmit, B. (2014), Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – The case study Berlin, Germany, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 48, S. 86–98.
- European Union (2012), Mapping Guide for a European Urban Atlas, (o.O.).
- Fernandez Milan, B. & Creutzig, F. (2015), Reducing urban heat wave risk in the 21st century, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 14, S. 221–231.
- Gabriel, K.M.A. & Endlicher, W.R. (2011), Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, *Environmental pollution (Barking, Essex 1987)*, Vol. 159 No. 8–9, S. 2044–2050.
- Gavrilidis, A.A., Niță, M.R., Onose, D.A., Badiu, D.L. & Năstase, I.I. (2019), Methodological framework for urban sprawl control through sustainable planning of urban green infrastructure, *Ecological Indicators*, Vol. 96, S. 67–78.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S., Theuray, N. & Lindley, S.J. (2008), Characterising the urban environment of UK cities and towns. A template for landscape planning, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 87 No. 3, S. 210–222.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. & Pauleit, S. (2007), Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure, *Built Environment*, Vol. 33 No. 1, S. 115–133.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W. & Medina-Elizade, M. (2006), Global temperature change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 103 No. 39, S. 14288–14293.
- Hansen, R., Olafsson, A.S., van der Jagt, A.P.N., Rall, E. & Pauleit, S. (2019), Planning multifunctional green infrastructure for compact cities. What is the state of practice?, *Ecological Indicators*, Vol. 96, S. 99–110.
- Hofmann, A., Polinna, C., Richter, J. & Schlaack, J. (2010), Dokumentation zum Workshop: 'Beyond Planwerk Innenstadt. Neue Ideen – Strategische Entwicklungen weiterdenken', Berlin.
- Investitionsbank Berlin (2012), IBB Wohnungsmarktbericht 2011. Tabellenband, Berlin.
- Investitionsbank Berlin (2017), IBB Wohnungsmarktbericht 2016. Tabellenband, Berlin.
- Kabisch, N. (2015), Ecosystem service implementation and governance challenges in urban green space planning –The case of Berlin, Germany, *Land Use Policy*, Vol. 42, S. 557–567.
- Kabisch, N. & Haase, D. (2013), Green spaces of European cities revisited for 1990–2006, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 110, S. 113–122.
- Kabisch, N. & Haase, D. (2014), Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 122, S. 129–139.

- Kabisch, N. (2015), Ecosystem service implementation and governance challenges in urban green space planning – The case of Berlin, Germany, *Land Use Policy*, Vol. 42, S. 557–567.
- Kühnau, C., Böhme, C., Bunzel, A., Böhm, J. & Reinke, M. (2016), Von der Theorie zur Umsetzung: Stadtnatur und doppelte Innenentwicklung, *Natur und Landschaft. Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege*, Vol. 91 No. 7, S. 329–335.
- Lang, S. & Blaschke, T. (2007), „Landschaftsanalyse mit GIS“, Stuttgart.
- Li, H., Meier, F., Lee, X., Chakraborty, T., Liu, J., Schaap, M. & Sodoudi, S. (2018), Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin, *The Science of the total environment*, Vol. 636, S. 818–828.
- Prastacos, P., Lagarias, A. & Chrysoulakis, N. (2017), Using the Urban Atlas dataset for estimating spatial metrics. Methodology and application in urban areas of Greece, *Cybergeo*, No. 815.
- Roo, G. de (2016), Environmental Conflicts in Compact Cities. Complexity, Decisionmaking, and Policy Approaches, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 27 No. 1, S. 151–162.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2013), 06.05 Versorgung mit öffentlichen, wohnungsnahen Grünanlagen (Ausgabe 2013), online unter URL: <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia605.htm> [Abruf: 19-03-14].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2014), Strategie Stadtlandschaft Berlin. natürlich urban produktiv, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2015), Berlin Strategie. Stadtentwicklungskonzept Berlin 2030, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016a), 06.06 Einwohnerdichte (Ausgabe 2016), Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016b), Berlin Strategie 2.0. Stadtentwicklungskonzept Berlin 2030, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016c), Stadtentwicklungsplan Klima. KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (o.J.), Der Park am Gleisdreieck – Idee, Geschichte, Entwicklung und Umsetzung, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (2017a), 01.02 Versiegelung (Ausgabe 2017), Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (2017b), Zwischenbericht Stadtentwicklungsplan (StEP) Wohnen 2030, Berlin.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (2017), Landschaftsprogramm – Artenschutzprogramm, Berlin.
- Seto, K.C., Fragkias, M., Güneralp, B. & Reilly, M.K. (2011), A meta-analysis of global urban land expansion, *PloS one*, Vol. 6 No. 8.
- Smid, M., Russo, S., Costa, A.C., Granell, C. & Pebesma, E. (2019), Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves, *Urban Climate*, Vol. 27, S. 388–402.
- Steinborn, W. (2012), Flächennutzung und Bodenbedeckung. Informationsangebot des European Urban Atlas für Planung und Statistik, IÖR Schriften, Vol. 60.

- Straka, M. & Sodoudi, S. (2019), Evaluating climate change adaptation strategies and scenarios of enhanced vertical and horizontal compactness at urban scale (a case study for Berlin), *Landscape and Urban Planning*, Vol. 183, S. 68–78.
- Thierfelder, H. & Kabisch, N. (2016), Viewpoint Berlin: Strategic urban development in Berlin – Challenges for future urban green space development, *Environmental Science & Policy*, Vol. 62, S. 120–122.
- Thinh, N.X., Arlt, G., Heber, B., Hennersdorf, J. & Lehmann, I. (2002), Evaluation of urban land-use structures with a view to sustainable development, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 22 No. 5, S. 475–492.
- United Nations (2018), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, (o.O.).
- United Nations (2019), Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable, online unter URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/> [Abruf: 2019-06-20]
- Vanderhaegen, S. & Canters, F. (2017), Mapping urban form and function at city block level using spatial metrics, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 167, pp. 399–409.
- Zhao, P. & Li, P. (2017), Rethinking the relationship between urban development, local health and global sustainability, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 25, S. 14–19.

## Anhang

### zu 3.4.3. Tool-Einsatz

Sowohl die Zonengenerierung als auch die Analysen auf zonaler Ebene erfolgen mithilfe der Pythontoolbox *ZonalMetrics*. Dabei handelt es sich um eine open-source-Toolbox, welche der GIS-Software *ArcGIS* frei hinzugefügt werden kann. Dementsprechend sollen in dieser Arbeit alle GIS-Analysen und kartographischen Darstellungen mithilfe von *ArcMap 10.4.1* erfolgen.

#### 3.4.3.a) Datenaufbereitung

Die von der Stadt Berlin als openData und WFS zur Verfügung gestellten Datensätze, Versiegelungsdatensätze (2001, 2005, 2011, 2016) sowie Bezirks-, Stadtteil- und Stadtgrenzelayers, müssen nach dem Download in ein einheitliches Koordinatensystem (UTRS\_1989\_UTM\_33N) projiziert werden.

Die statistischen Layer mit der zonalen Einteilung nach Hexagonen (1.000 Meter Durchmesser) und Pies (16) werden aus dem Berlingrenze-Polygon der Stadt Berlin und mithilfe der Zonengenerierung der *ZonalMetrics*-Toolbox erstellt. Für die Erstellung des Hexagon-Layers wird ein Hexagon-

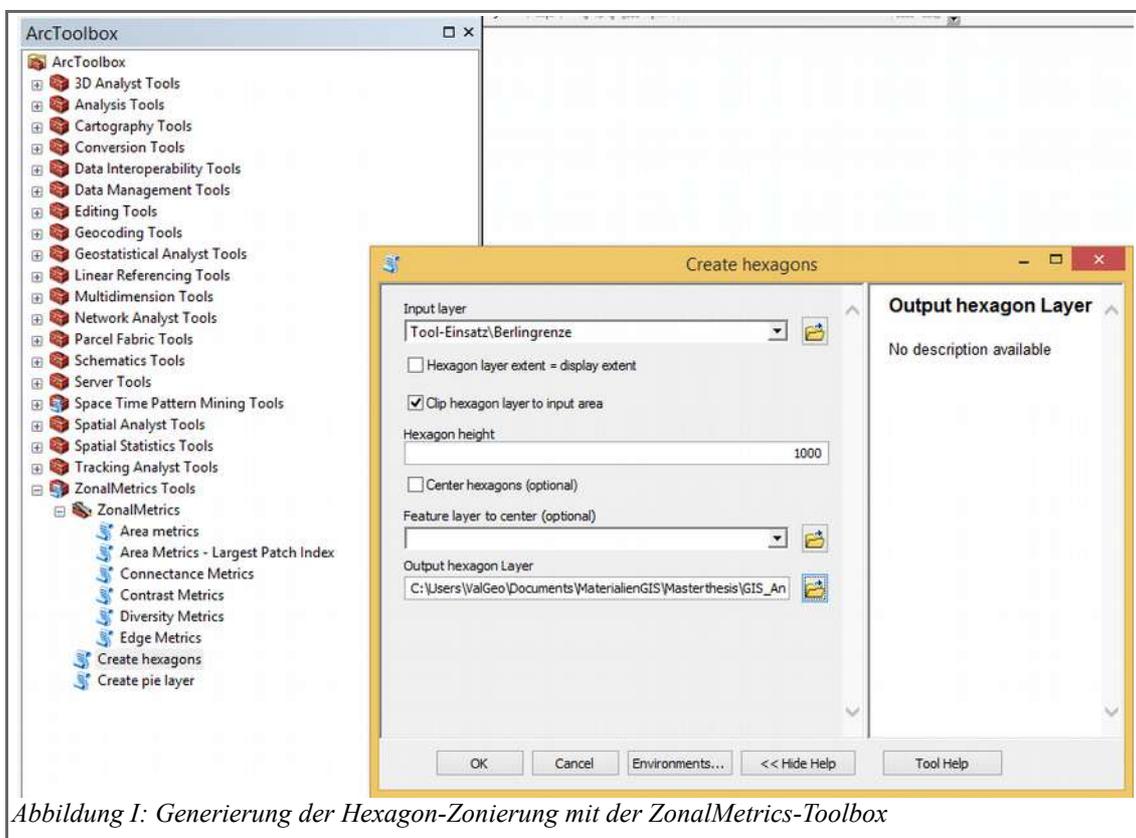


Abbildung 1: Generierung der Hexagon-Zonierung mit der ZonalMetrics-Toolbox

Durchmesser von 1.000 Metern gewählt (siehe Abbildung I). Dabei werden die Hexagone mit dem Rand des Untersuchungsgebiets geschnitten.

Bei der Pie-Erstellung besteht der Anspruch, die Mitte der Pies im Bezirk Berlin Mitte zu positionieren. Dafür wird ein quadratisches Polygon mit Berlin-Mitte als Zentrum erstellt, aus diesem ein 16-teiliger-Pielayer generiert (siehe Abbildung II) und dieser mit dem Berlingrenze-Polygon mithilfe des *Intersect*-Tools verschnitten (Abbildung III und Abbildung IV).

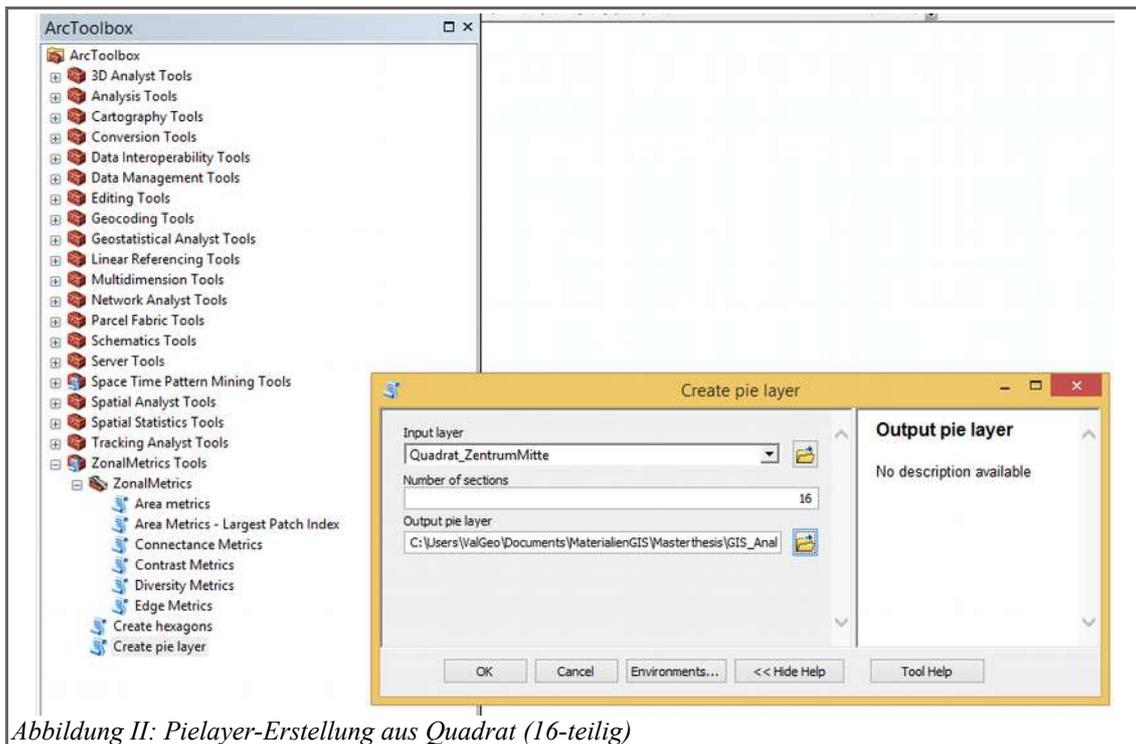


Abbildung II: Pielayer-Erstellung aus Quadrat (16-teilig)

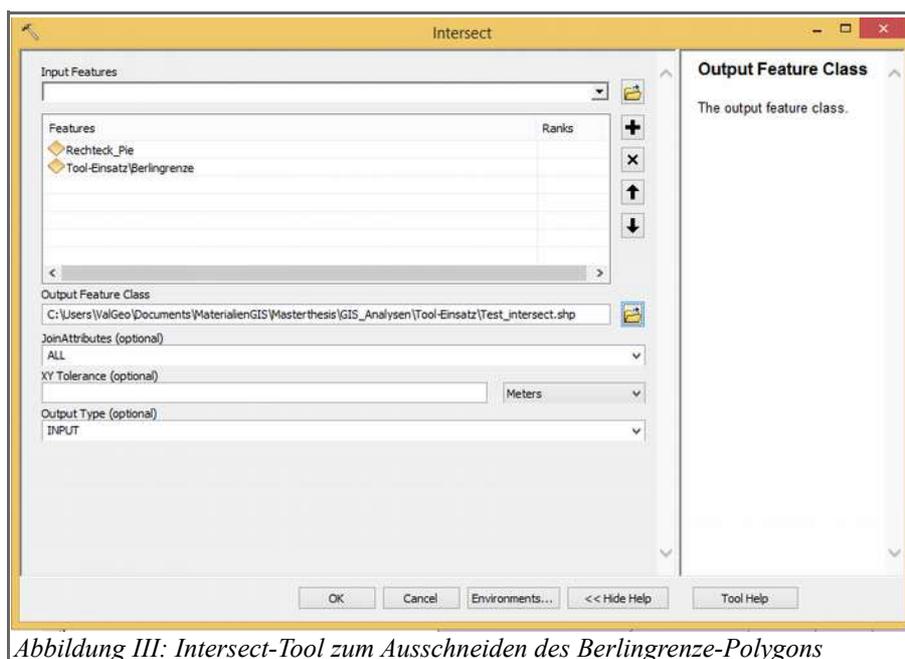
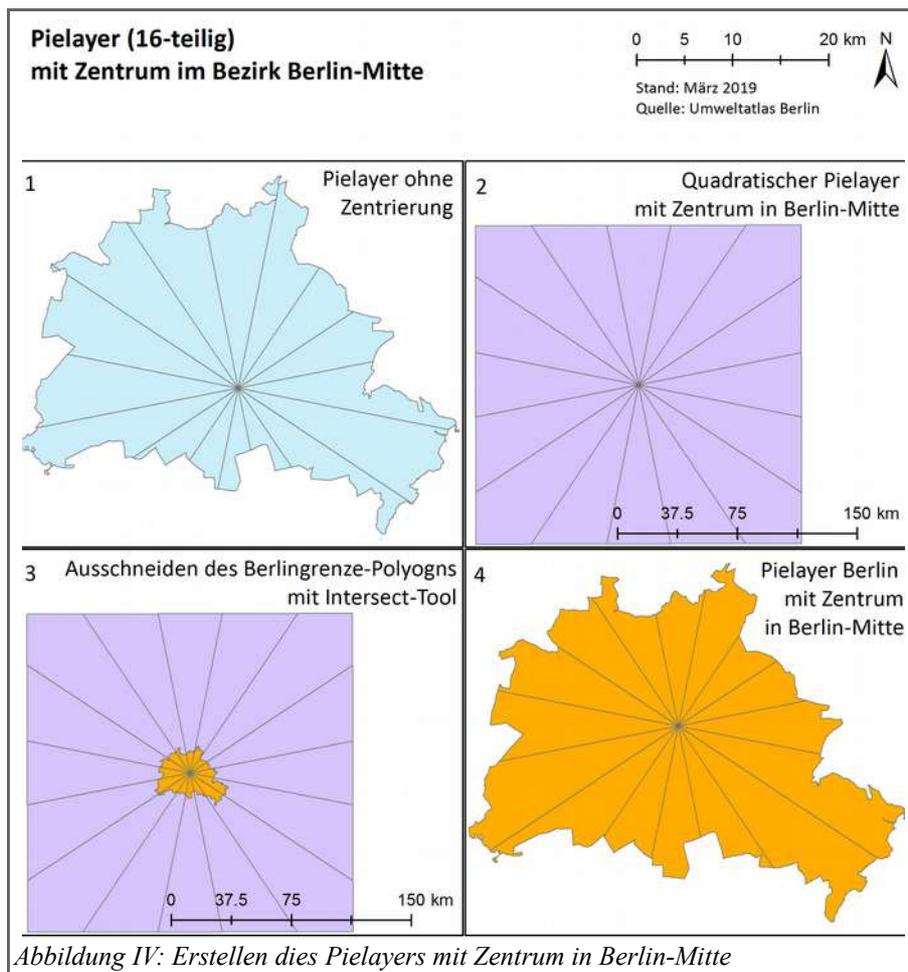
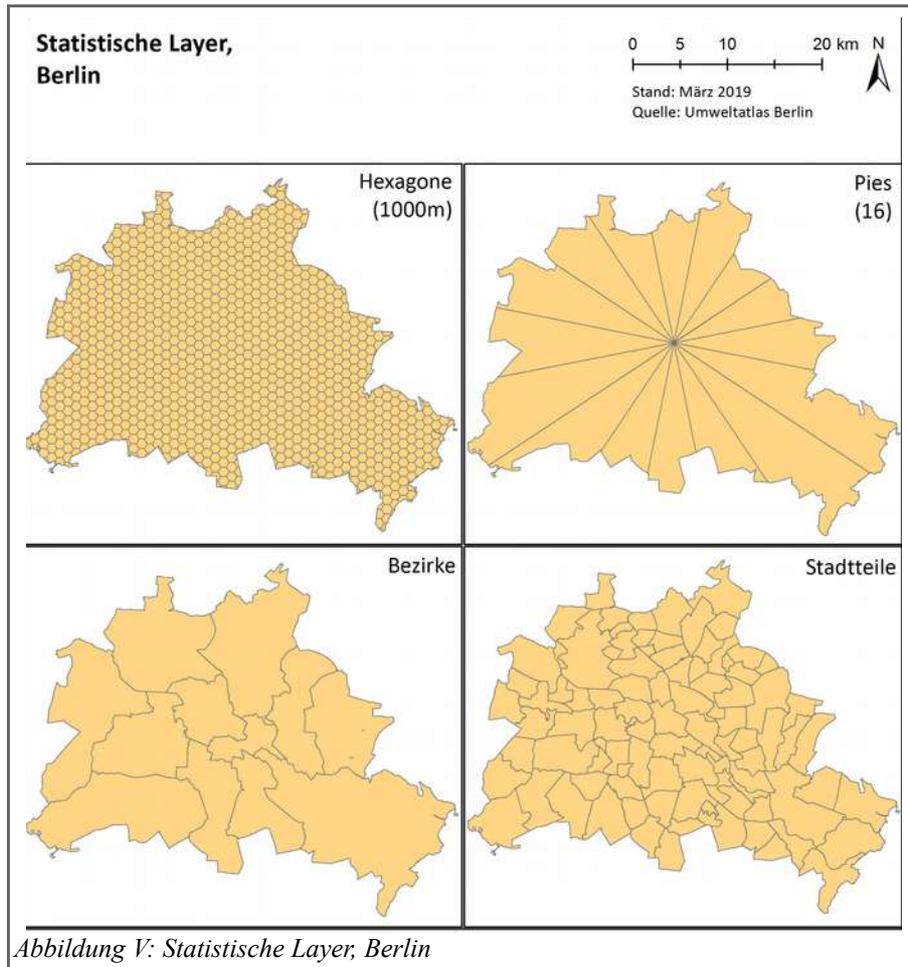


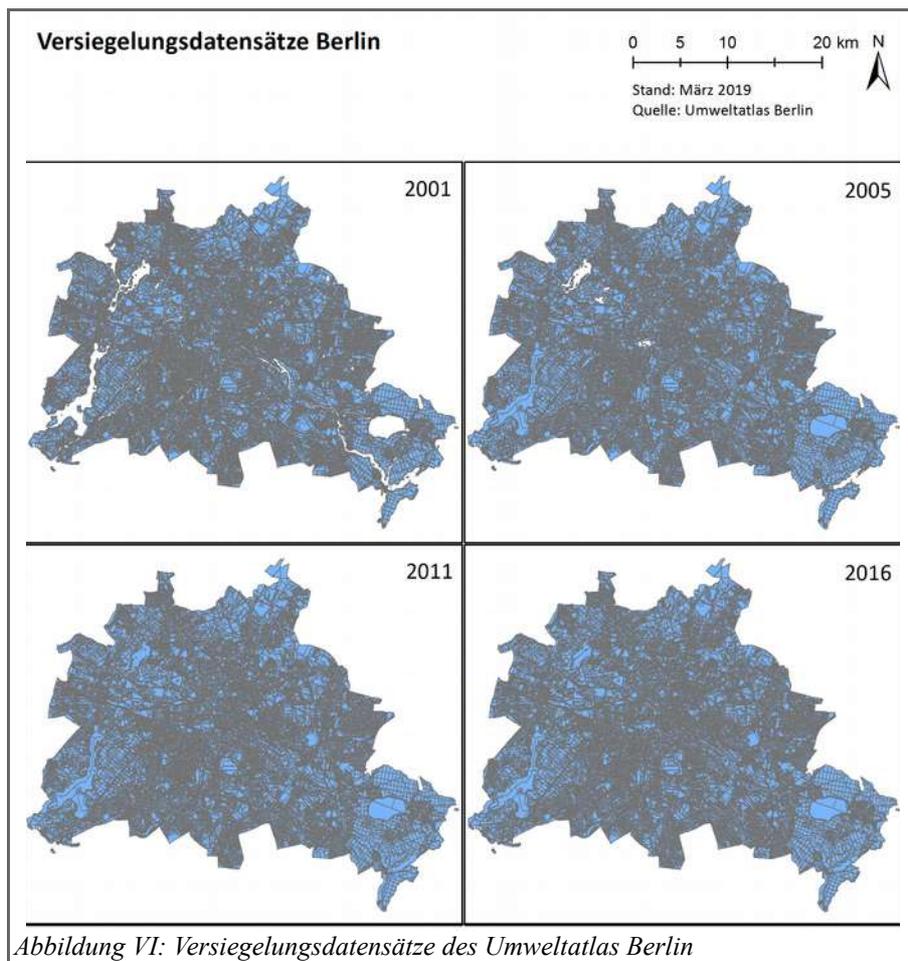
Abbildung III: Intersect-Tool zum Ausschneiden des Berlingrenze-Polygons



Nach der Projizierung der Verwaltungsdatensätze der Stadt Berlin (Bezirke und Stadtteile) und der Generierung der Hexagone- und Pie-Layer sind die statistischen Layer zur Weiterbearbeitung vorbereitet (siehe Abbildung V).



Die vier Versiegelungsdatensätze des *Umweltatlas Berlin* beinhalten jeweils unterschiedlich viele und verschieden große „Lücken“ (siehe Abbildung VI).



Für die Weiterbearbeitung mit der *ZonalMetrics*-Toolbox müssen die „Lücken“ geschlossen werden. Dies geschieht mithilfe des *ArcGIS*-Tools *Union* bzw. durch die Vereinigung des Stadgrenzopolygonlayers mit dem jeweiligen Versiegelungsdatensatz (siehe Abbildung VII). Die „geschlossenen Lücken“ erhalten dabei den Wert *NULL* (siehe Abbildung VIII).

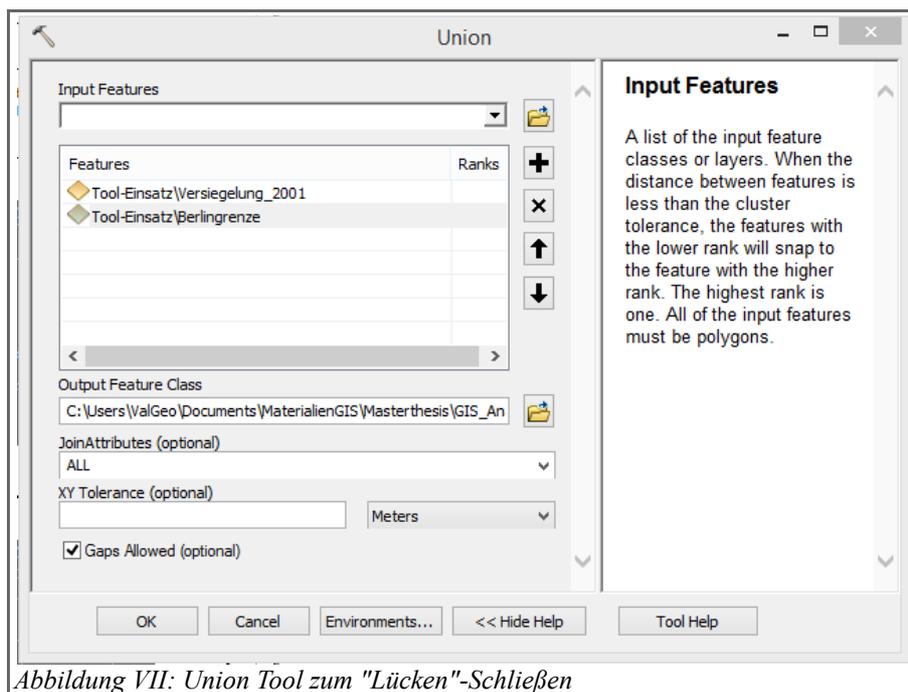


Abbildung VII: Union Tool zum "Lücken"-Schließen

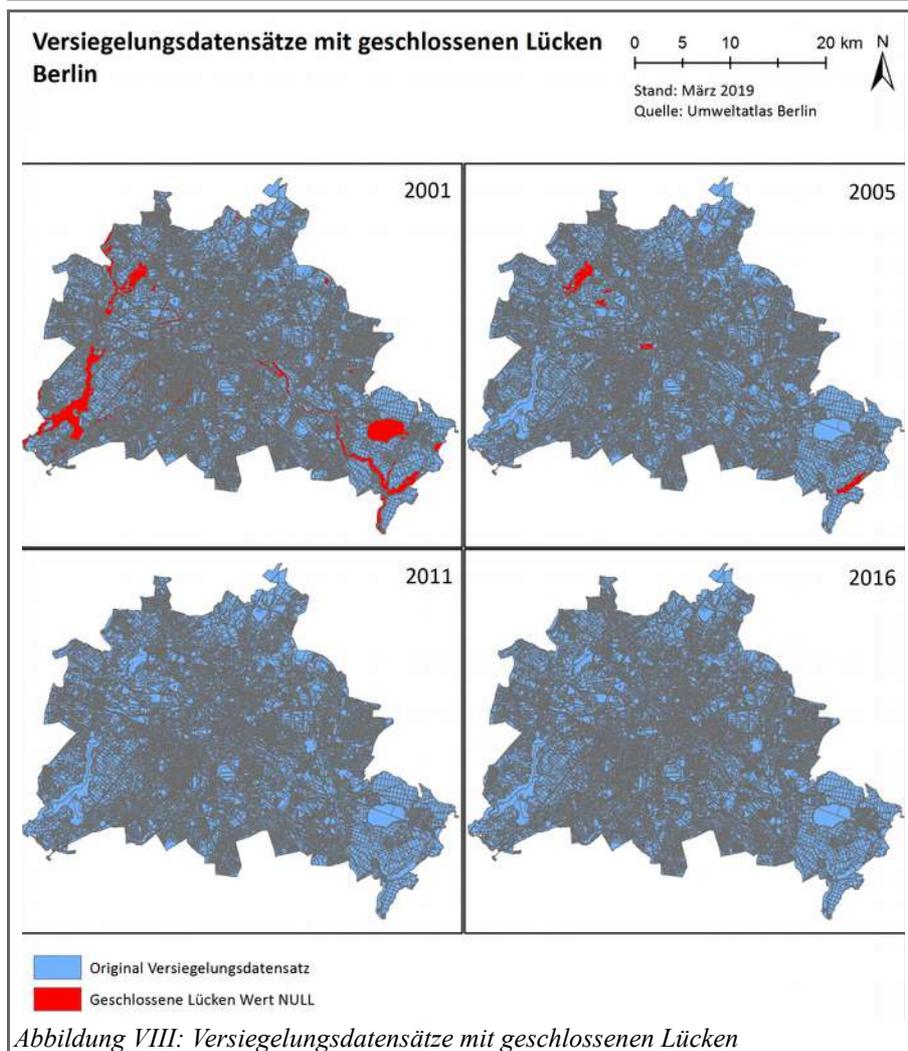


Abbildung VIII: Versiegelungsdatensätze mit geschlossenen Lücken

Anschließend werden bei allen vier Versiegelungsdatensätzen die Versiegelungsgrade nach den fünf Kategorien des *Urban Atlas* kategorisiert (siehe Abbildung IX). Dabei wird eine neue Spalte in der Attributtabelle erstellt und mithilfe des *Field Calculators* die Versiegelungsgrade in die Kategorien 1 bis 5, entsprechend *V1* bis *V5*, eingeteilt.

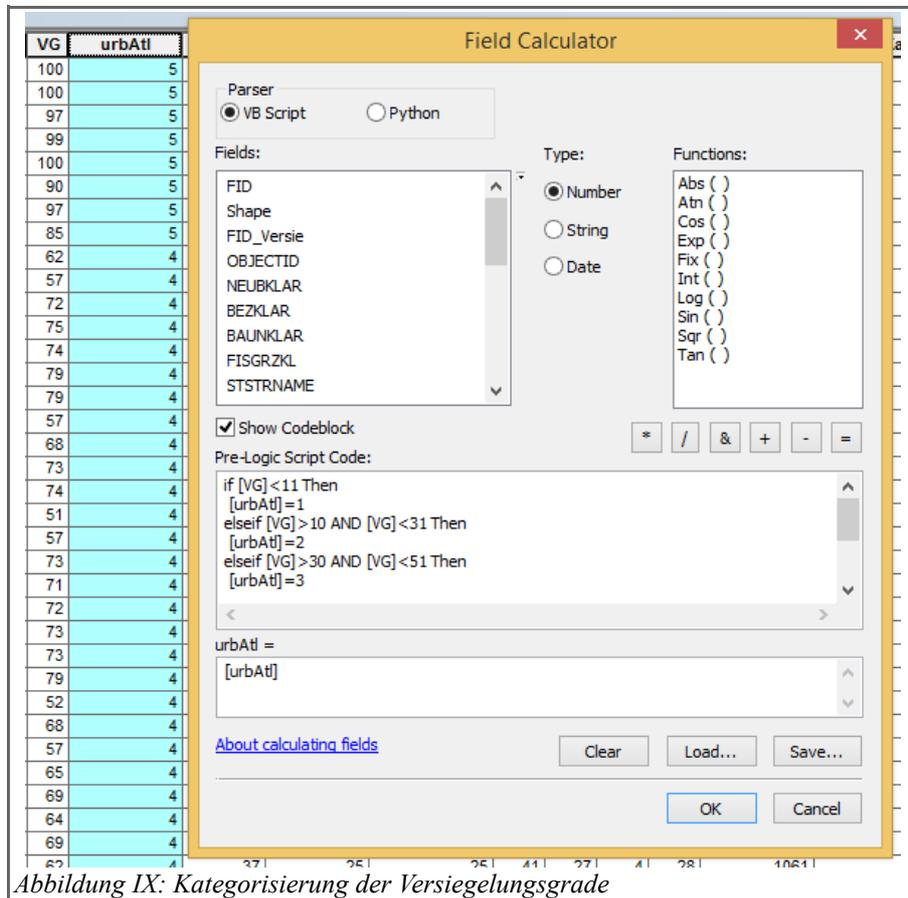


Abbildung IX: Kategorisierung der Versiegelungsgrade

Der Ablauf der Datenaufbereitung wird aus folgender Modell-Grafik noch einmal ersichtlich:

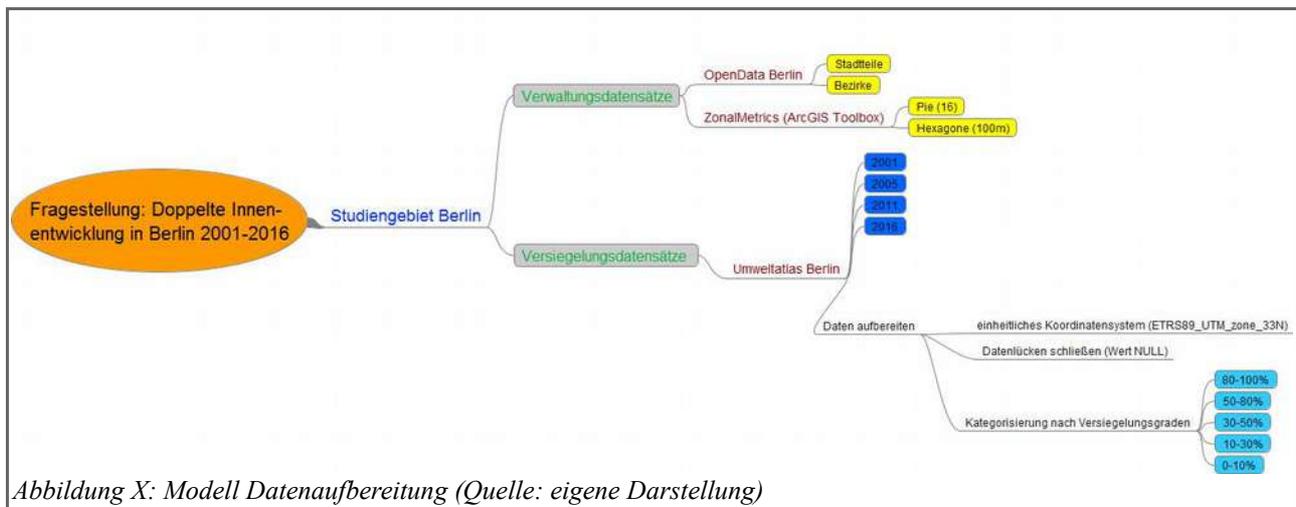


Abbildung X: Modell Datenaufbereitung (Quelle: eigene Darstellung)

### 3.4.3.b) Berechnungen mit der ZonalMetrics-Toolbox

Im Folgenden werden die Abläufe der *Urban Metrics* Berechnungen mithilfe der *ZonalMetrics*-Toolbox erläutert. Für alle Berechnungen mit der Pythontoolbox benötigt es stets einen *Input Layer*, in diesem Fall einen der Versiegelungsdatensätze, und einen *statistischen Layer*: Hexagone, Pies, Bezirke oder Stadtteile. Zudem muss ein *Classfield* angegeben werden. Das *Classfield* entspricht in diesem Fall der Kategorisierung der Versiegelungsgrade in die fünf verschiedenen Klassen. Klasse 0 wird stets nicht mitgerechnet, da es sich dabei um die mithilfe des *Union*-Tools geschlossenen „Lücken“ mit dem Wert *NULL* handelt.

Die Berechnungen werden jeweils für alle Versiegelungsdatensätze (2001, 2005, 2011 und 2016) und jeweils mit allen statistischen Layern (Hexagone, Pies, Bezirke und Stadtteile) durchgeführt.

## Largest-Patch-Index (LPI)

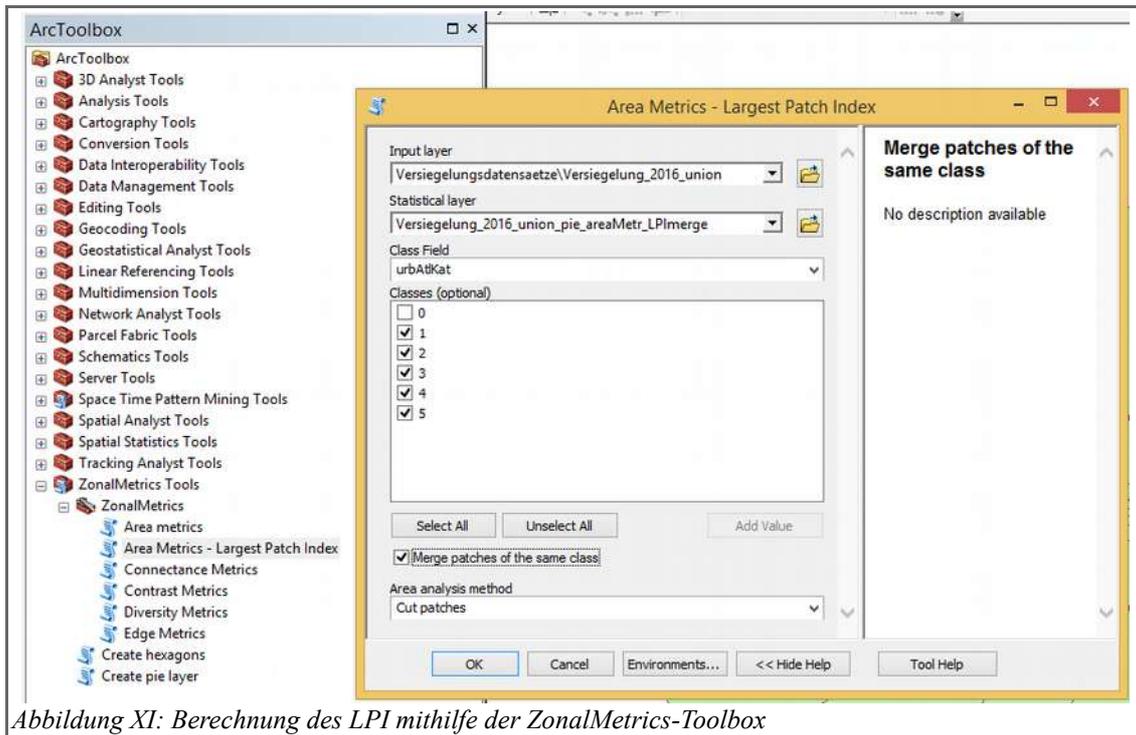


Abbildung XI: Berechnung des LPI mithilfe der ZonalMetrics-Toolbox

Für die Berechnung des *Largest-Patch-Index* werden neben den Layern und Klassen auch noch die Optionen *Merge patches of the same class* und *Cut patches* ausgewählt. Das Zusammenfügen von Patches der gleichen Klasse erzielt, dass sich der LPI nicht aus der Klasse des größten Patches, sondern aus der am häufigsten vertretenen Klasse (unabhängig welcher Anzahl an Patches) speist. *Cut patches* bezieht sich auf die Hexagone am Rand des Untersuchungsgebiets. Dabei handelt es sich um die Standardberechnungsmethode, bei der alle Patches auf die Ausdehnung der statistischen Zone, die sie überlappen, zugeschnitten werden (Adamczyk and Tiede, 2017).

Das Ergebnis wird in der Attributtabelle folgendermaßen ersichtlich:

lpi	lpi_class
16.61	1
25.762	1
94.581	1
59.518	1
97.249	1
44.815	3
18.437	3
89.149	1
15.96	1
43.828	1

Abbildung XII:  
Attributtabelle LPI

Wobei die Spalte *lpi* den prozentualen Anteil der am meisten vertretenen Klasse innerhalb der Zone angibt. Für diese Arbeit von besonderem Interesse ist die Spalte *lpi\_class*, die angibt, welche Klasse am häufigsten vertreten ist in der jeweiligen Zone.

Aus den Berechnungen des Largest-Patch-Index entstehen folgende neue Datensätze:

LPI	2001	2005	2011	2016
Hexagone	2001_hexa_lpi	2005_hexa_lpi	2011_hexa_lpi	2016_hexa_lpi
Pies	2001_pie_lpi	2005_pie_lpi	2011_pie_lpi	2016_pie_lpi
Bezirke	2001_bez_lpi	2005_bez_lpi	2011_bez_lpi	2016_bez_lpi
Stadtteile	2001_bezkl_lpi	2005_bezkl_lpi	2011_bezkl_lpi	2016_bezkl_lpi

Tabelle 1: Neue Datensätze nach LPI-Berechnung

Die kartografische Darstellung erfolgt für jeden dieser Datensätze.

### Area Metrics

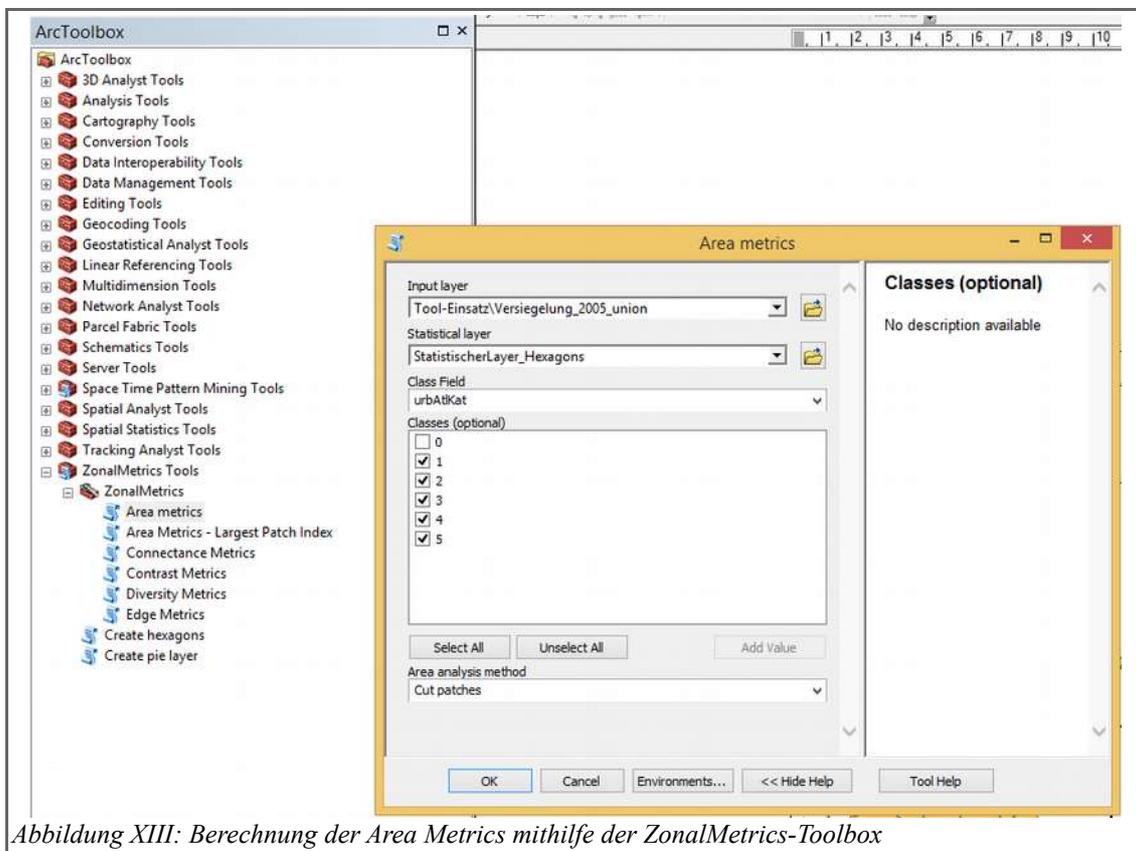


Abbildung XIII: Berechnung der Area Metrics mithilfe der ZonalMetrics-Toolbox

Auch bei der Berechnung der Area Metrics wird als *Area analysis method* die Option *Cut patches* gewählt.

Das Ergebnis der Area Metrics in der Attributtabelle zeigt sich folgendermaßen:

npc1	pz1	ca1
586	35.759	23122574.9404
56	10.087	2056656.9118
290	23.133	12050437.7989
272	17.566	10852348.914
196	15.19	5981699.85754
176	11.063	4967998.37387
642	39.35	40593785.612
734	40.927	36540183.3959
1032	45.415	41707439.7877
914	43.308	44396429.8606
171	12.388	6568421.97415
1200	59.158	99170230.6785

Abbildung XIV: Attributtabelle Area Metrics

Wobei *npc* die Anzahl der Patches der jeweiligen Klasse (im obigen Fall der Versiegelungsgrad-Kategorie 1) in einer Zone, *pz* den Anteil der Klasse an der Gesamtfläche der Zone sowie *ca* die Flächengröße der Klasse innerhalb der Zone angibt. Für diese Arbeit besonders relevant ist das Ergebnis von *pz*. Demnach müsste die Summe aus *pz1*, *pz2*, *pz3*, *pz4* und *pz5* 100 Prozent ergeben. Da die Kategorie 0 weggelassen wurde ist dies jedoch nicht immer gegeben. Wie damit umgegangen wird, wird in Kapitel 3.4.4. Limitationen genauer beschrieben.

Aus den Berechnungen der Area Metrics entstehen folgende neue Datensätze:

Area Metrics	2001	2005	2011	2016
Hexagone	2001_hexa_aM	2005_hexa_aM	2011_hexa_aM	2016_hexa_aM
Pies	2001_pie_aM	2005_pie_aM	2011_pie_aM	2016_pie_aM
Bezirke	2001_bez_aM	2005_bez_aM	2011_bez_aM	2016_bez_aM
Stadtteile	2001_bezkl_aM	2005_bezkl_aM	2011_bezkl_aM	2016_bezkl_aM

Tabelle 2: Neue Datensätze nach Area Metrics-Berechnung

Da bei der Berechnung der Area Metrics je fünf Kategorien berechnet wurden, erfolgt die kartografische Darstellung pro Datensatz für jede der fünf Kategorien. Insgesamt entstehen somit 80 Karten.

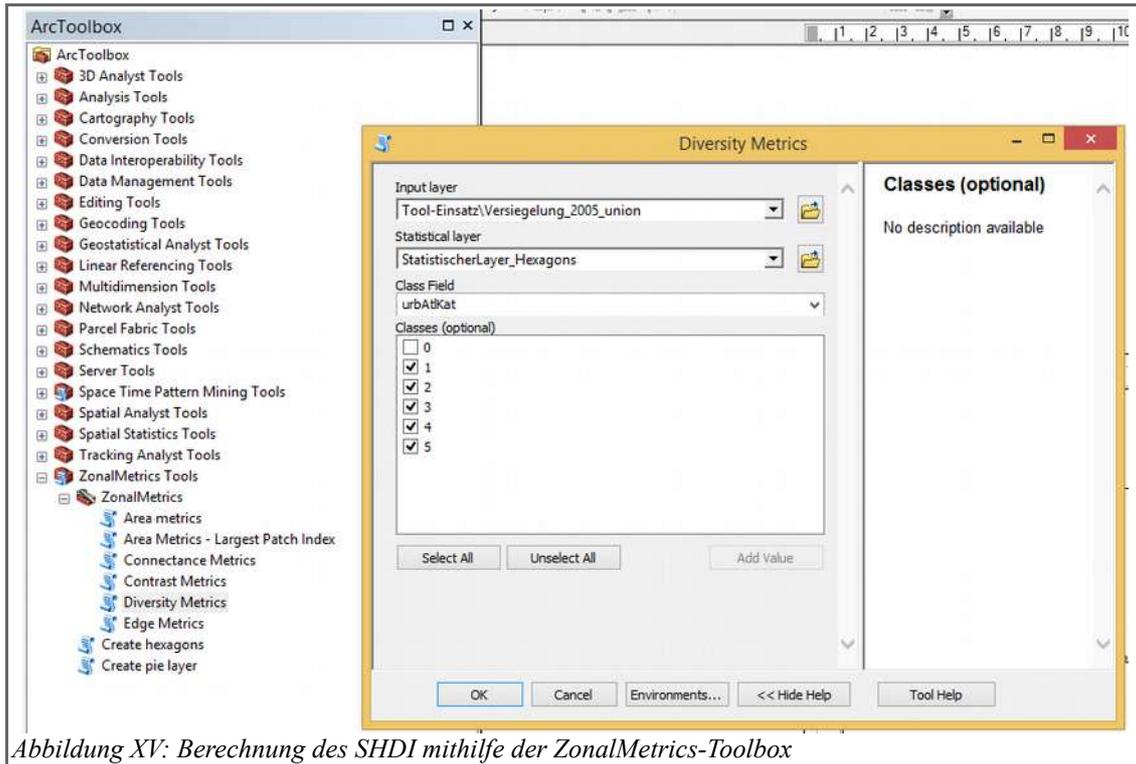


Abbildung XV: Berechnung des SHDI mithilfe der ZonalMetrics-Toolbox

### Shannon-Diversity-Index (SHDI)

Das Ergebnis der Berechnung des *Shannon-Diversity-Index* zeigt sich in der Attributtabelle in der Spalte *shdi*:

shdi
1.468262
1.470145
1.492119
1.389019
1.516338
1.462313
1.384072
1.372327
1.32186
1.262254
1.532695
1.083314

Je höher der SHDI-Wert ist, desto größer ist die Diversität innerhalb einer Zone.

Abbildung XVI:  
Attribut-  
tabelle  
SHDI

Aus den Berechnungen entstehen folgende neue Datensätze:

SHDI	2001	2005	2011	2016
Hexagone	2001_hexa_shdi	2005_hexa_shdi	2011_hexa_shdi	2016_hexa_shdi
Pies	2001_pie_shdi	2005_pie_shdi	2011_pie_shdi	2016_pie_shdi
Bezirke	2001_bez_shdi	2005_bez_shdi	2011_bez_shdi	2016_bez_shdi
Stadtteile	2001_bezkl_shdi	2005_bezkl_shdi	2011_bezkl_shdi	2016_bezkl_shdi

Tabelle 3: Neue Datensätze nach SHDI-Berechnung

Für jeden dieser Datensätze erfolgt eine kartografische Darstellung.

Aus den Berechnungen sind damit insgesamt 48 neue Datensätze entstanden. Diese beschreiben alle den jeweiligen Ist-Zustand der Versiegelungsgrade des jeweiligen Jahres (2001, 2005, 2011 oder 2016). Um Entwicklungen der Versiegelungsgrade sichtbar zu machen, werden deswegen die Differenzen in den jeweiligen Jahren berechnet:

### Veränderung des LPI

Je zwei Datensätze verschiedener Zeitpunkte werden mithilfe der *Join*-Funktion miteinander verknüpft um die Veränderungsdatensätze zu erhalten. Die Entwicklung des LPI über die Jahre hinweg wird mit folgender Formel und mithilfe des *Field Calculators* berechnet:

$$LPI(2005) - LPI(2001) = \text{Zu- oder Abnahme der Versiegelung}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 wiederholt)

Ein positives Ergebnis bedeutet, dass sich die am meisten vertretene Kategorie innerhalb einer Zone im jeweiligen Zeitabschnitt hin zu einer Kategorie höheren Versiegelungsgrades verändert hat. Eine Zunahme der Versiegelung innerhalb dieser Zone kann daraus abgeleitet werden. Ein negatives Ergebnis bedeutet hingegen eine Abnahme der Versiegelung, da nun eine Kategorie niedrigeren Versiegelungsgrades am meisten innerhalb der Zone vertreten ist. Das Ergebnis 0 zeigt keine Veränderung: Die häufigste Kategorie innerhalb der Zone hat sich zwischen den Jahren nicht verändert.

Folgende zusätzliche Datensätze entstehen:

LPI-Veränderung	2001-2005	2005-2011	2011-2016	2001-2016
Hexagone	0105_hexa_lpi	0511_hexa_lpi	1116_hexa_lpi	0116_hexa_lpi
Pies	0105_pie_lpi	0511_pie_lpi	1116_pie_lpi	0116_pie_lpi
Bezirke	0105_bez_lpi	0511_bez_lpi	1116_bez_lpi	0116_bez_lpi
Stadtteile	0105_bezkl_lpi	0511_bezkl_lpi	1116_bezkl_lpi	0116_bezkl_lpi

Tabelle 4: Neue Datensätze durch Berechnung der Veränderungen des LPI

Für jeden dieser Datensätze erfolgt eine kartografische Darstellung.

### Veränderung der Area Metrics

Wiederum werden je zwei Datensätze verschiedener Zeitpunkte mithilfe der *Join*-Funktion miteinander verknüpft um die Veränderungsdatensätze zu erhalten. Die Veränderung des Anteils einer Kategorie innerhalb einer Zone wird wie folgt und mithilfe des *Field Calculators* berechnet:

$$pz1(2005) - pz1(2001) = \text{Zu- oder Abnahme des Anteils der jeweiligen Kategorie innerhalb der Zone}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 sowie jeweils für alle fünf Kategorien wiederholt)

Ein positives Ergebnis bedeutet dabei, dass der Anteil der jeweiligen Kategorie innerhalb der Zone gestiegen ist. Bei der Kategorie 1 bedeutet dies beispielsweise eine Zunahme kaum versiegelter Flächen mit Grünflächen und bei der Kategorie 5 eine Zunahme stark versiegelter Bereiche. Ein Abnehmen des Anteils der jeweiligen Kategorie innerhalb einer Zone wird aus einem negativen Ergebnis interpretiert, während 0 bedeutet, dass der Anteil gleichgeblieben ist.

Folgende zusätzliche Datensätze sind entstanden:

Area Metrics-Veränderung	2001-2005	2005-2011	2011-2016	2001-2016
Hexagone	0105_hexa_aM	0511_hexa_aM	1116_hexa_aM	0116_hexa_aM
Pies	0105_pie_aM	0511_pie_aM	1116_pie_aM	0116_pie_aM
Bezirke	0105_bez_aM	0511_bez_aM	1116_bez_aM	0116_bez_aM
Stadtteile	0105_bezkl_aM	0511_bezkl_aM	1116_bezkl_aM	0116_bezkl_aM

Tabelle 5: Neue Datensätze durch Berechnung der Veränderung der Area Metrics

Da bei der Berechnung der Area Metrics je fünf Kategorien berechnet wurden, erfolgt die kartografische Darstellung pro Datensatz für jede der fünf Kategorien.

### Veränderung des SHDI

Aus je zwei Datensätzen verschiedener Zeitpunkte werden auch hier Veränderungsdatensätze erstellt. Die Veränderung der Diversität innerhalb des Zeitabschnitts und pro Zone errechnet sich folgendermaßen:

$$shdi_{2005} - shdi_{2001} = \text{Zu- oder Abnahme der Diversität}$$

(Dies wird für die Zeitabschnitte 2005–2011, 2011–2016 und 2001–2016 wiederholt)

Hierbei bedeutet ein positives Ergebnis, dass die Diversität im jeweiligen Zeitraum zugenommen hat, während ein negatives Ergebnis eine abnehmende Diversität bedeutet.

Folgende zusätzliche Datensätze sind entstanden:

SHDI-Veränderung	2001-2005	2005-2011	2011-2016	2001-2016
<b>Hexagone</b>	0105_hexa_shdi	0511_hexa_shdi	1116_hexa_shdi	0116_hexa_shdi
<b>Pies</b>	0105_pie_shdi	0511_pie_shdi	1116_pie_shdi	0116_pie_shdi
<b>Bezirke</b>	0105_bez_shdi	0511_bez_shdi	1116_bez_shdi	0116_bez_shdi
<b>Stadtteile</b>	0105_bezkl_shdi	0511_bezkl_shdi	1116_bezkl_shdi	0116_bezkl_shdi

Tabelle 6: Neue Datensätze durch Berechnung der Veränderung des SHDI

Für jeden dieser Datensätze erfolgt eine kartografische Darstellung.

Folgendes Modell zeigt noch einmal die Berechnungen von LPI, Area Metrics und SHDI mit der *ZonalMetrics*-Toolbox sowie die Berechnungen der Veränderungen in den jeweiligen Zeiträumen (siehe Abbildung X). Aufgrund der Menge der entstandenen neuen Datensätze sowie zur einfacheren Lesbarkeit sind nur die Berechnungen des Jahres 2001 mit dem Hexagon-Layer vollständig ausgeführt (siehe Wolke). Vereinfachte Darstellungen finden sich bei den anderen Berechnungen, was jedoch keinen Unterschied an der Anzahl an Berechnungen bedeutet.

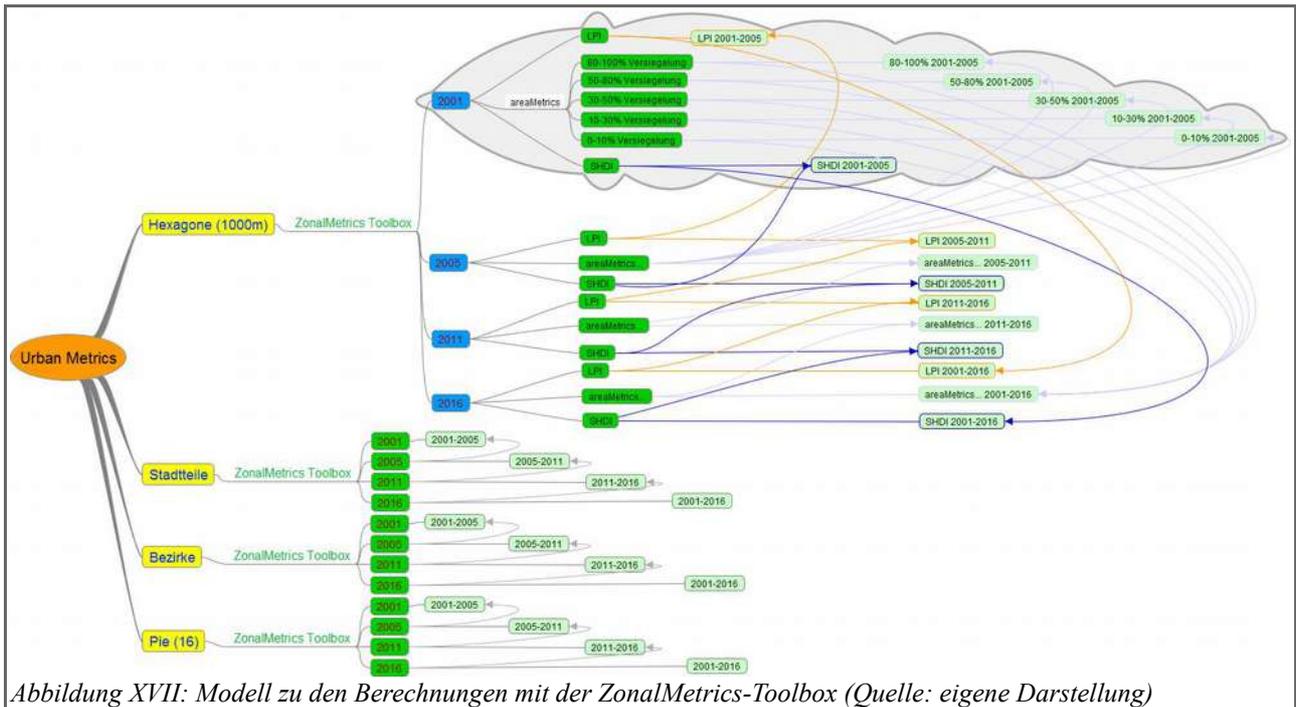


Abbildung XVII: Modell zu den Berechnungen mit der ZonalMetrics-Toolbox (Quelle: eigene Darstellung)

## Weitere Kartendarstellungen

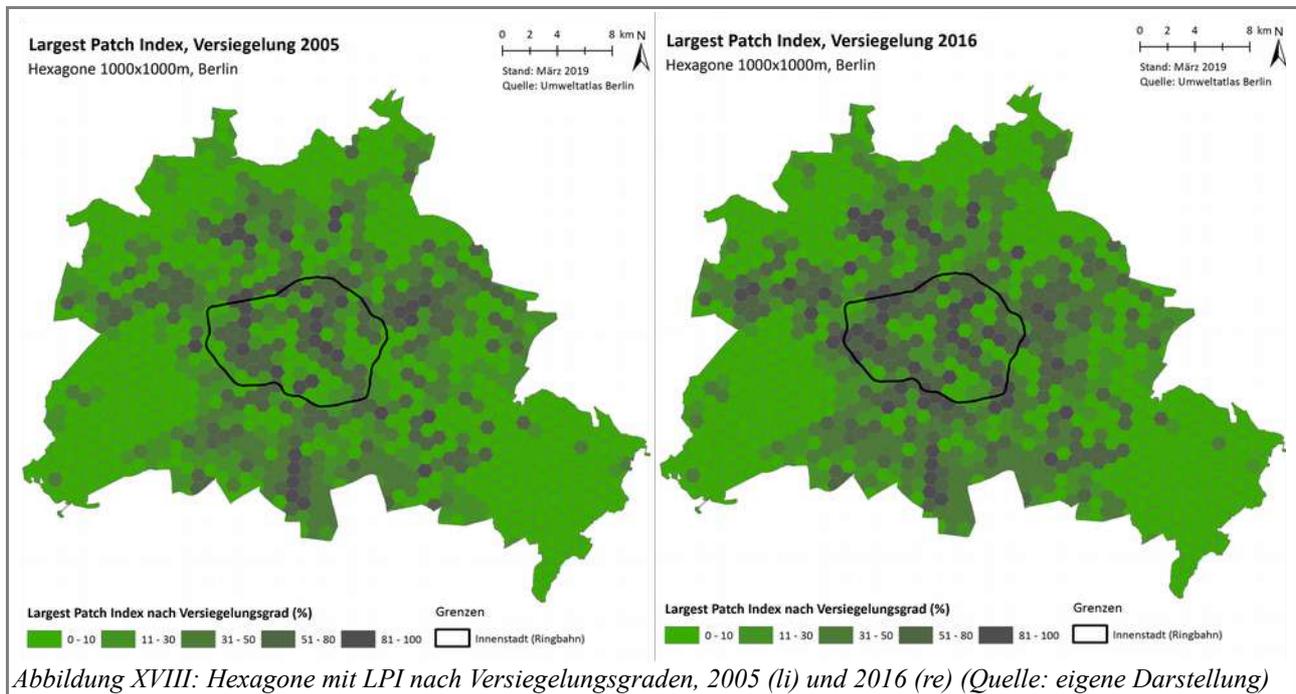
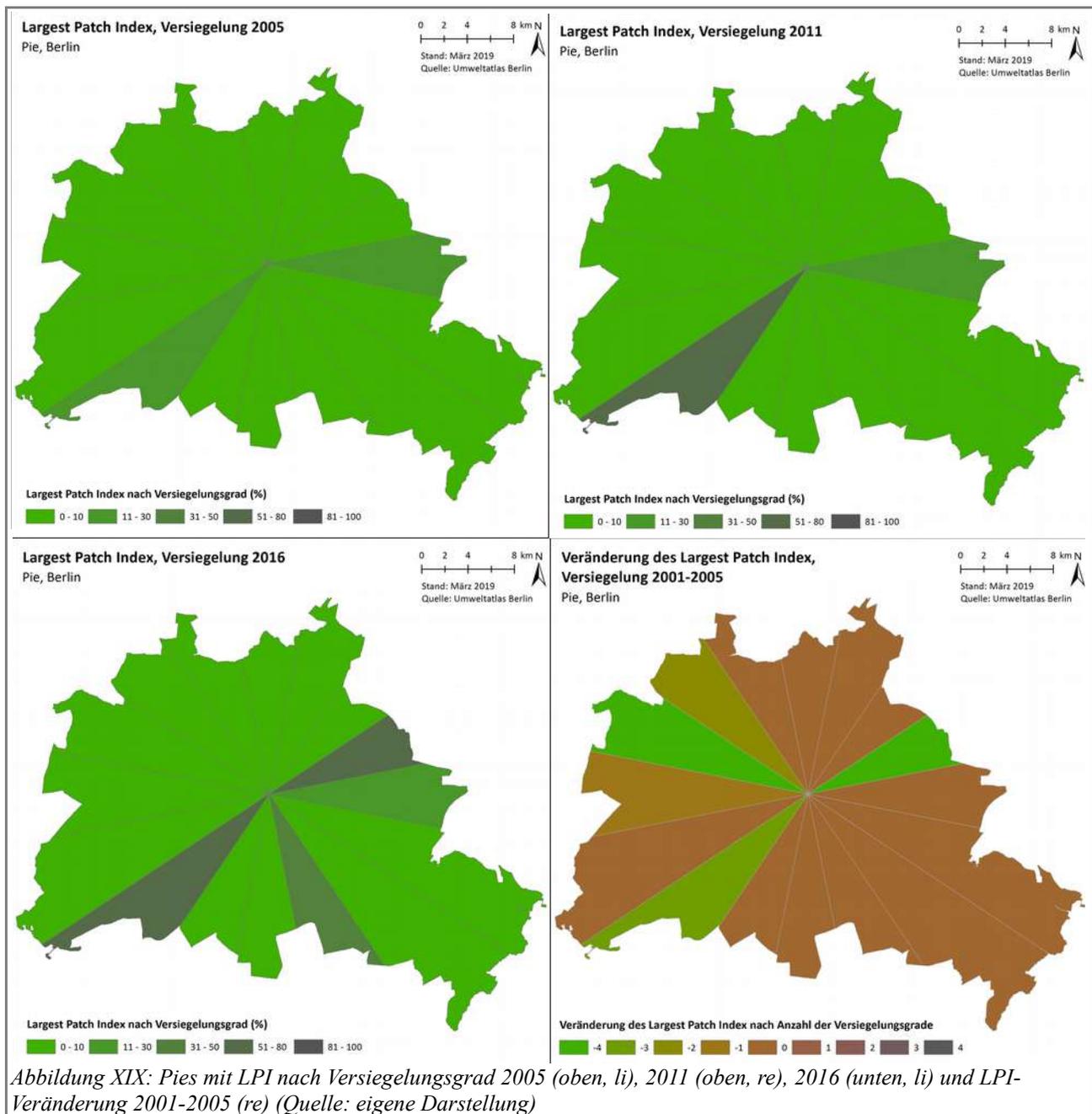
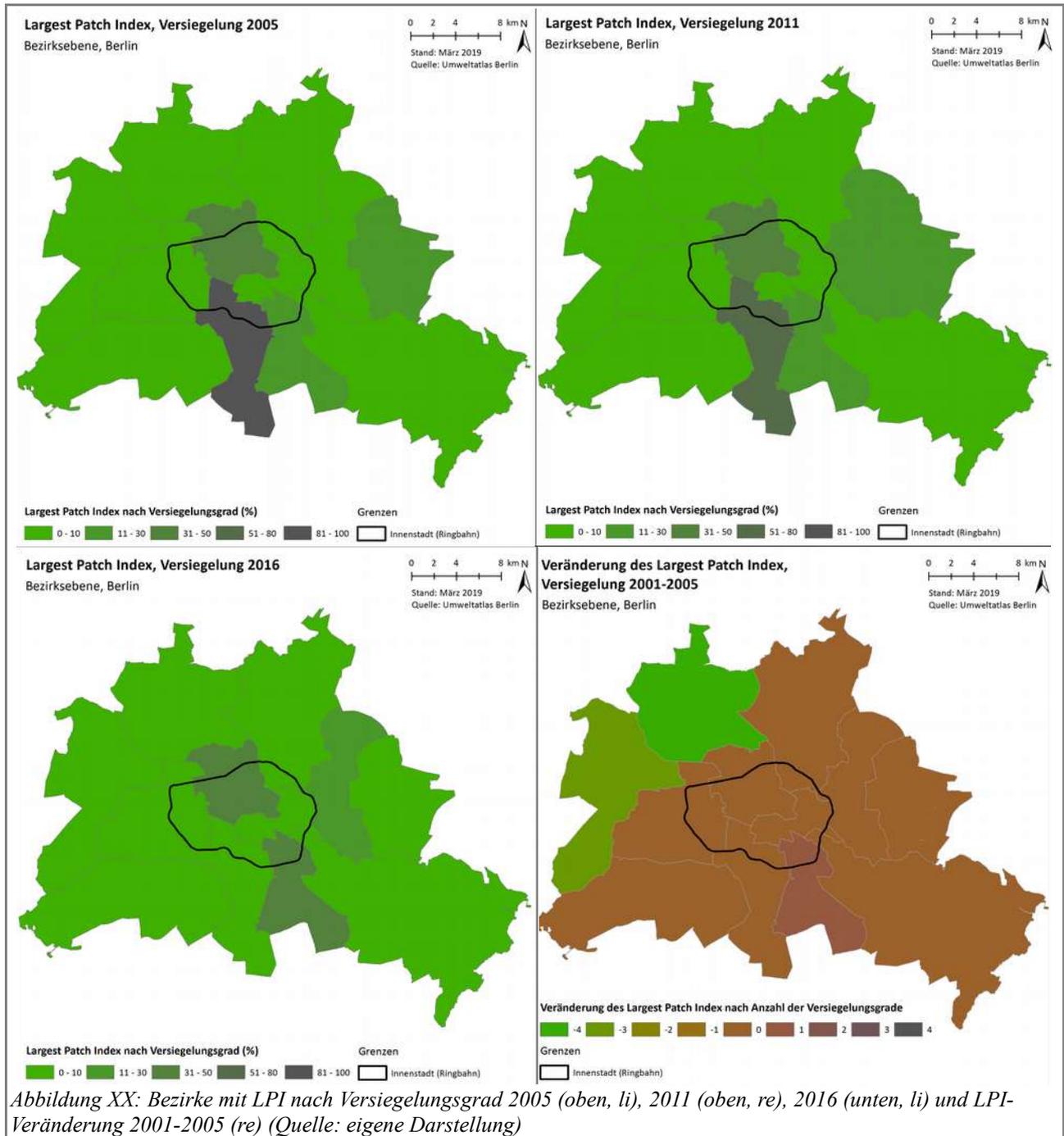


Abbildung XVIII: Hexagone mit LPI nach Versiegelungsgraden, 2005 (li) und 2016 (re) (Quelle: eigene Darstellung)





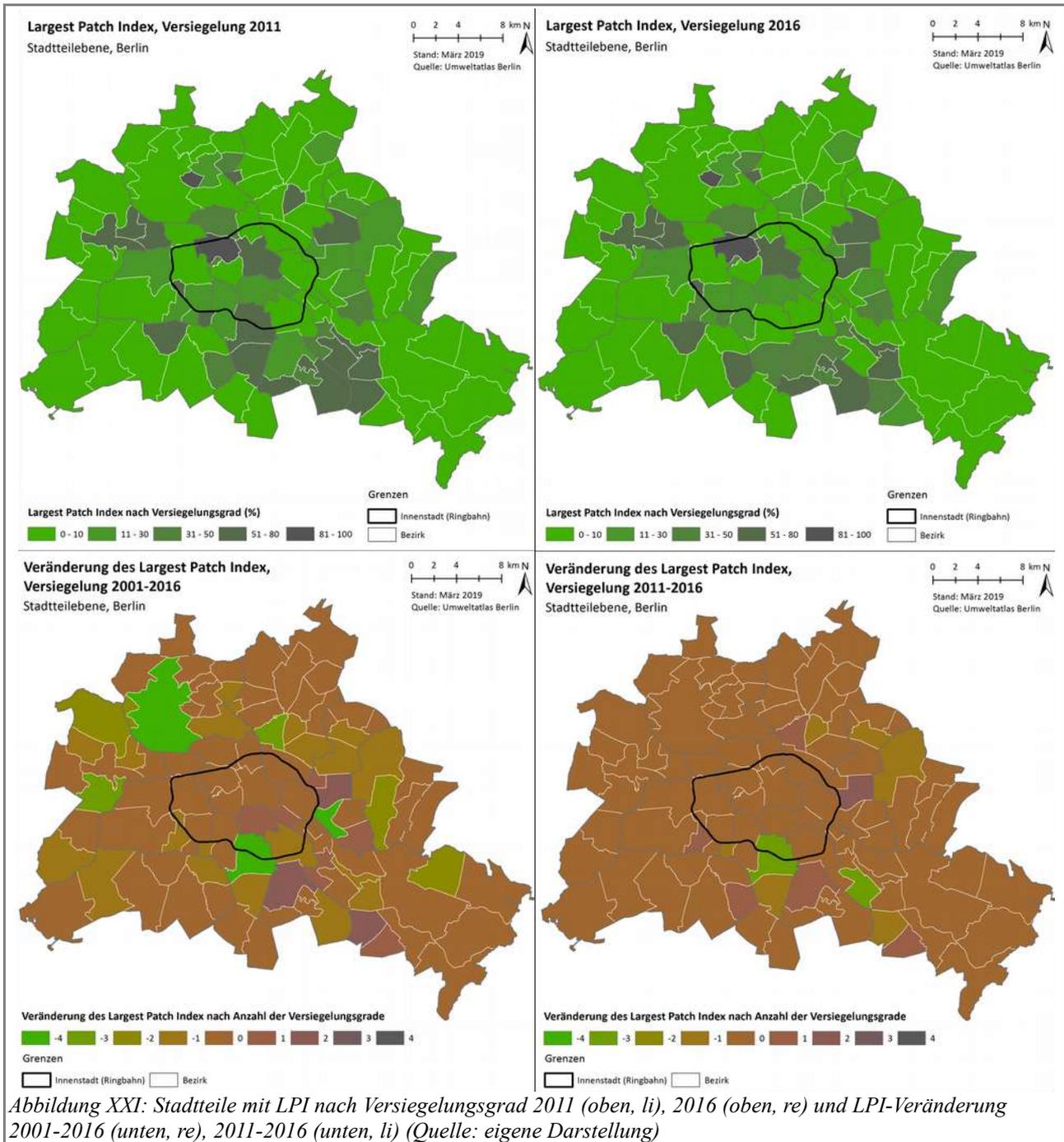


Abbildung XXI: Stadtteile mit LPI nach Versiegelungsgrad 2011 (oben, li), 2016 (oben, re) und LPI-Veränderung 2001-2016 (unten, re), 2011-2016 (unten, li) (Quelle: eigene Darstellung)

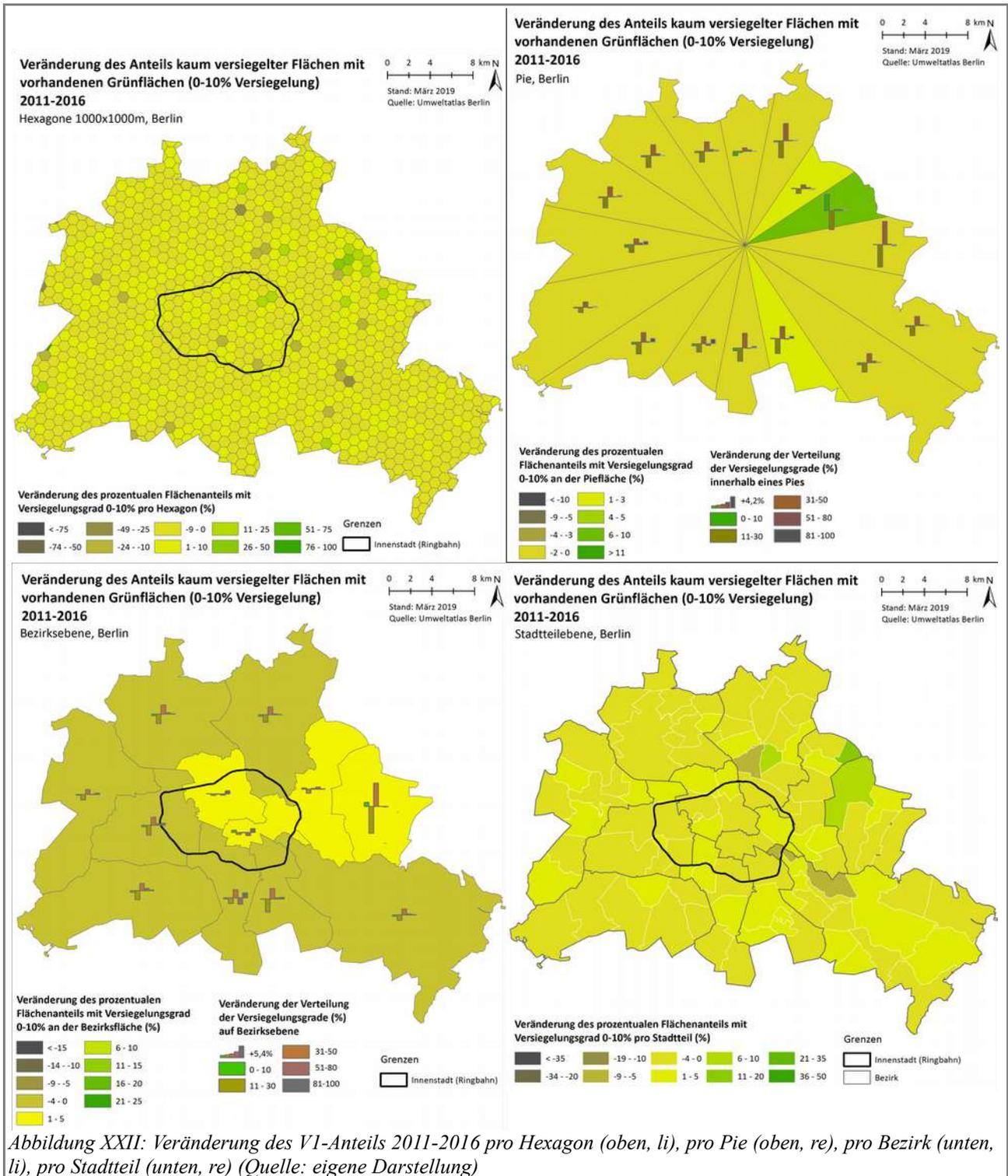


Abbildung XXII: Veränderung des VI-Anteils 2011-2016 pro Hexagon (oben, li), pro Pie (oben, re), pro Bezirk (unten, li), pro Stadtteil (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung)

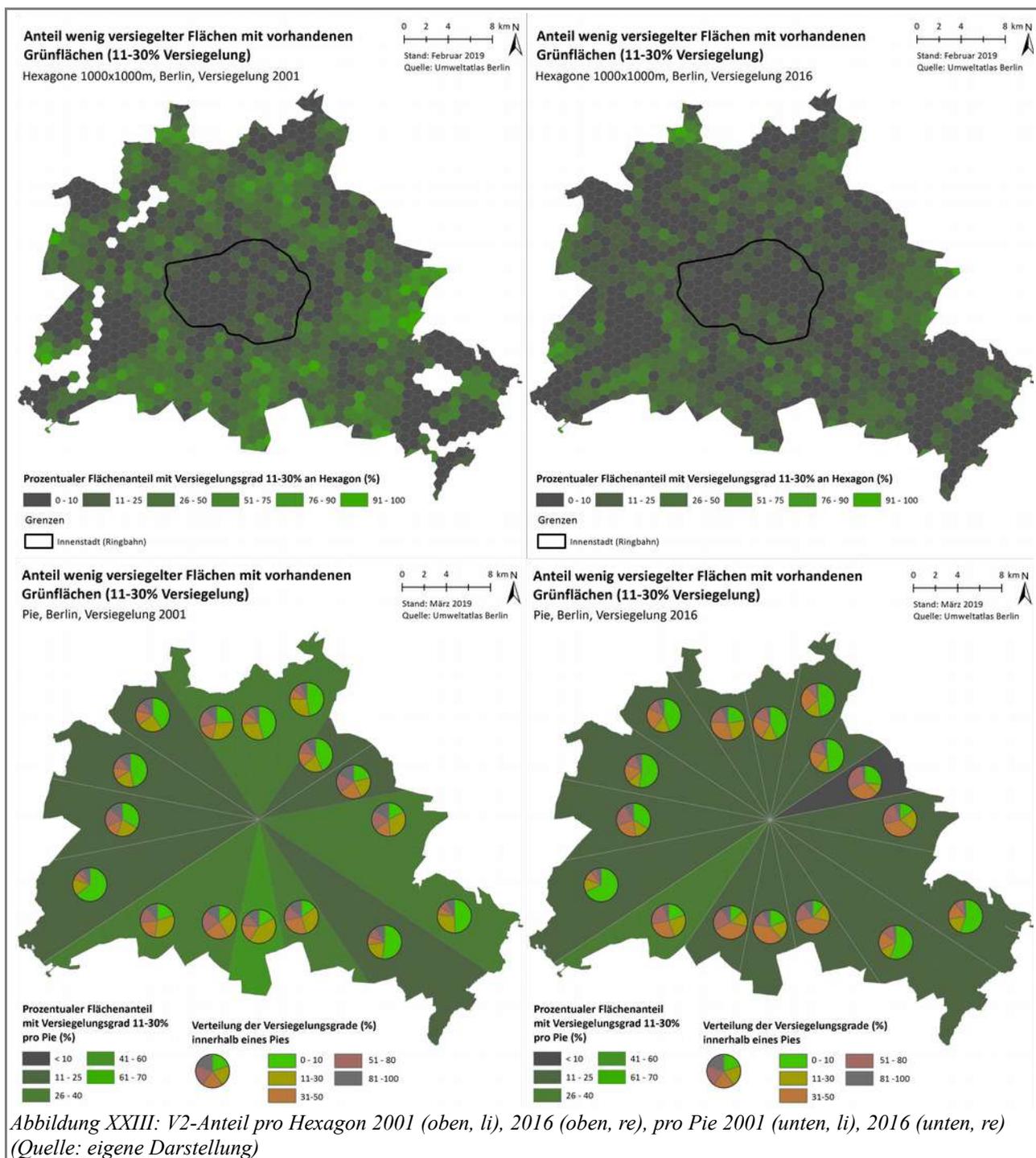


Abbildung XXIII: V2-Anteil pro Hexagon 2001 (oben, li), 2016 (oben, re), pro Pie 2001 (unten, li), 2016 (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung)

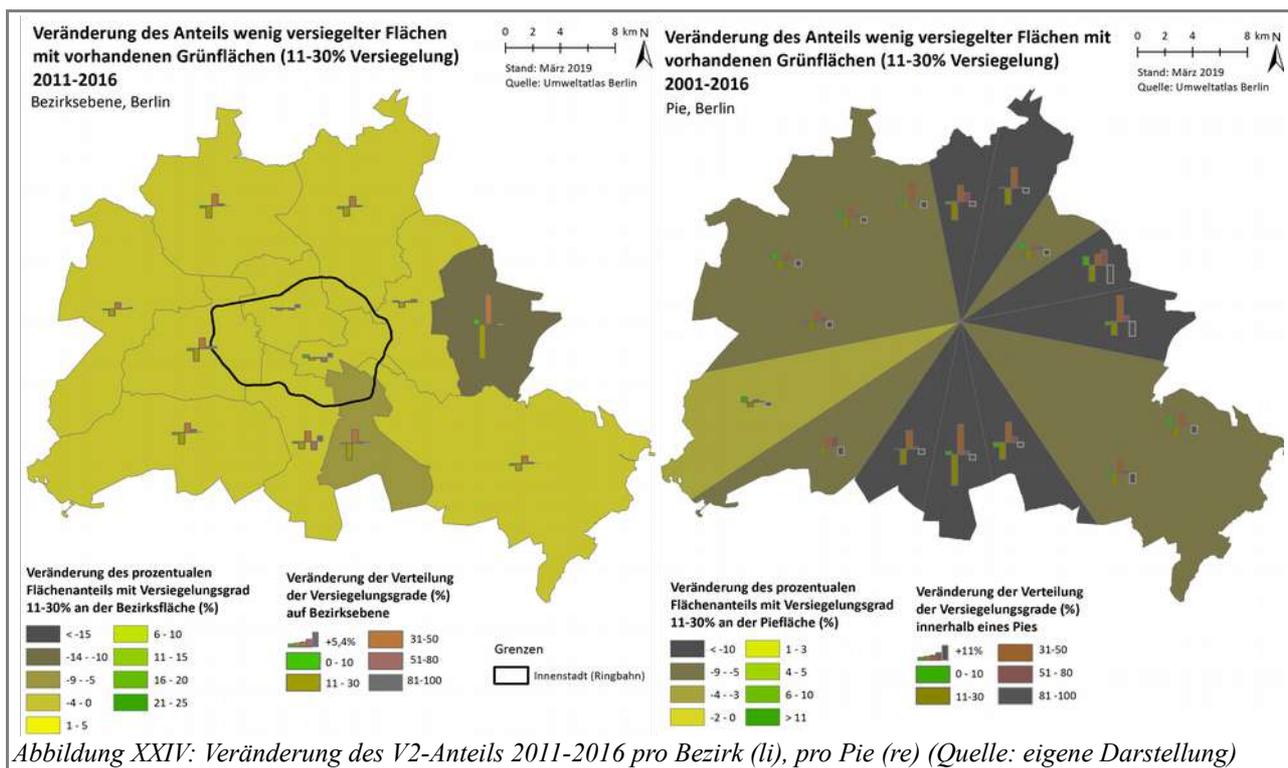


Abbildung XXIV: Veränderung des V2-Anteils 2011-2016 pro Bezirk (li), pro Pie (re) (Quelle: eigene Darstellung)

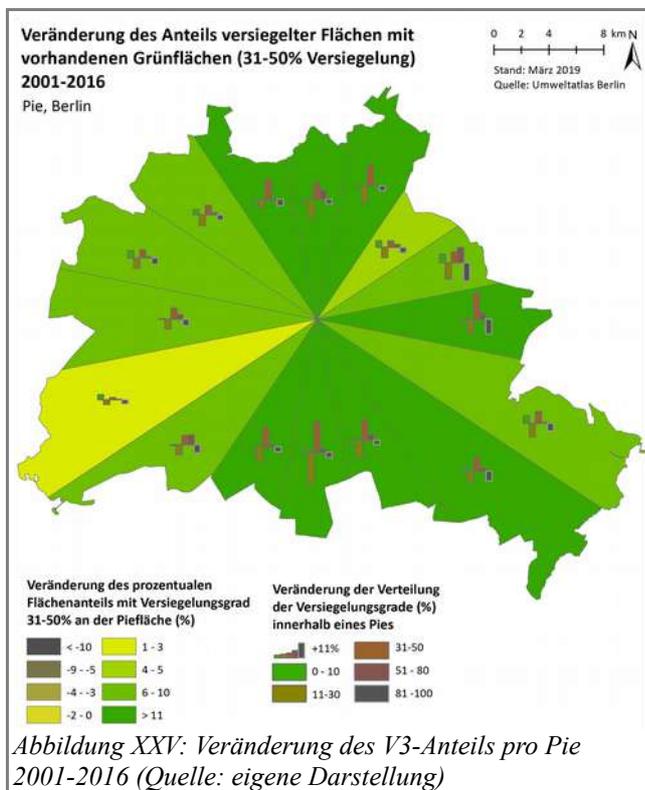


Abbildung XXV: Veränderung des V3-Anteils pro Pie 2001-2016 (Quelle: eigene Darstellung)

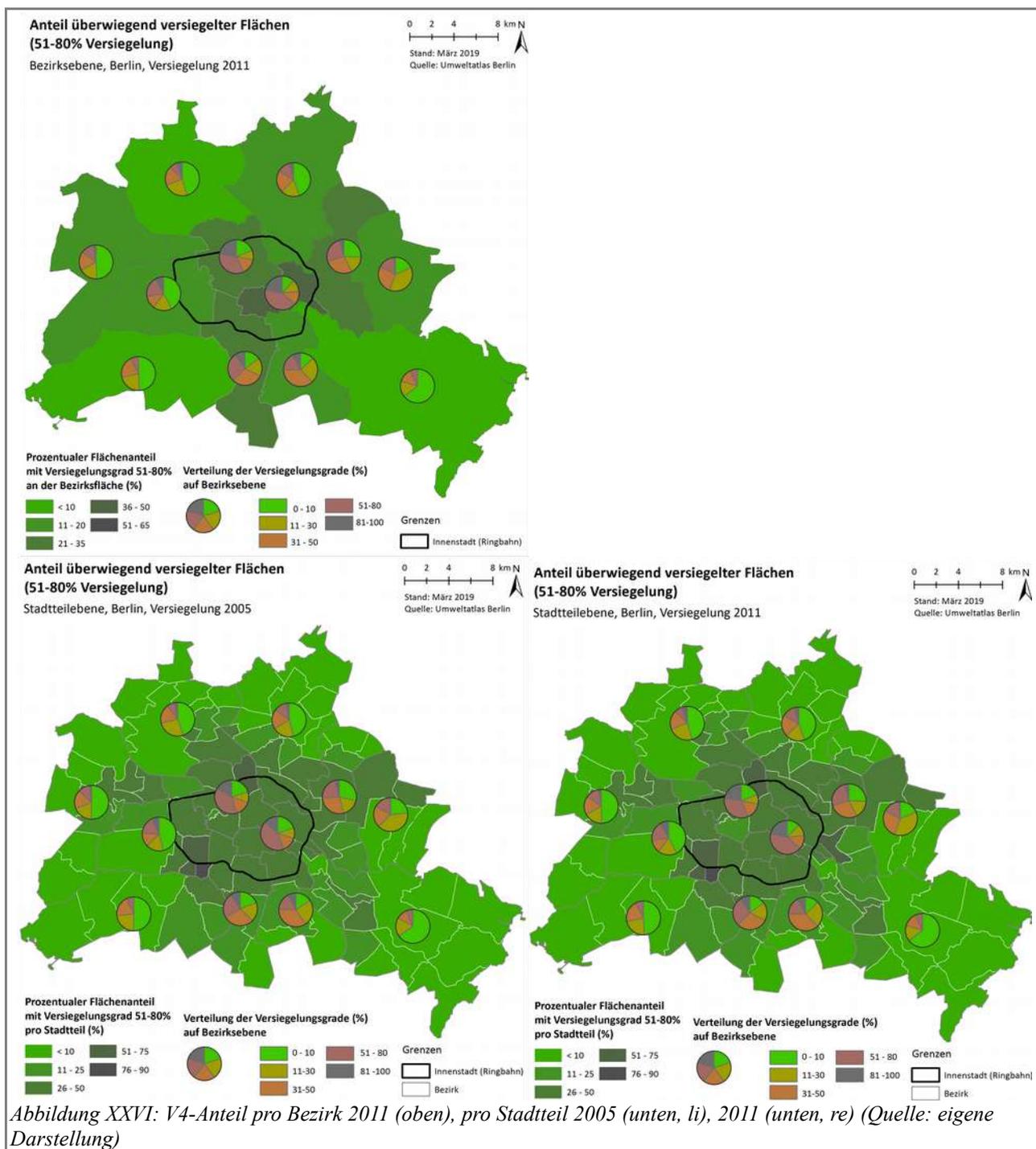


Abbildung XXVI: V4-Anteil pro Bezirk 2011 (oben), pro Stadtteil 2005 (unten, li), 2011 (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung)

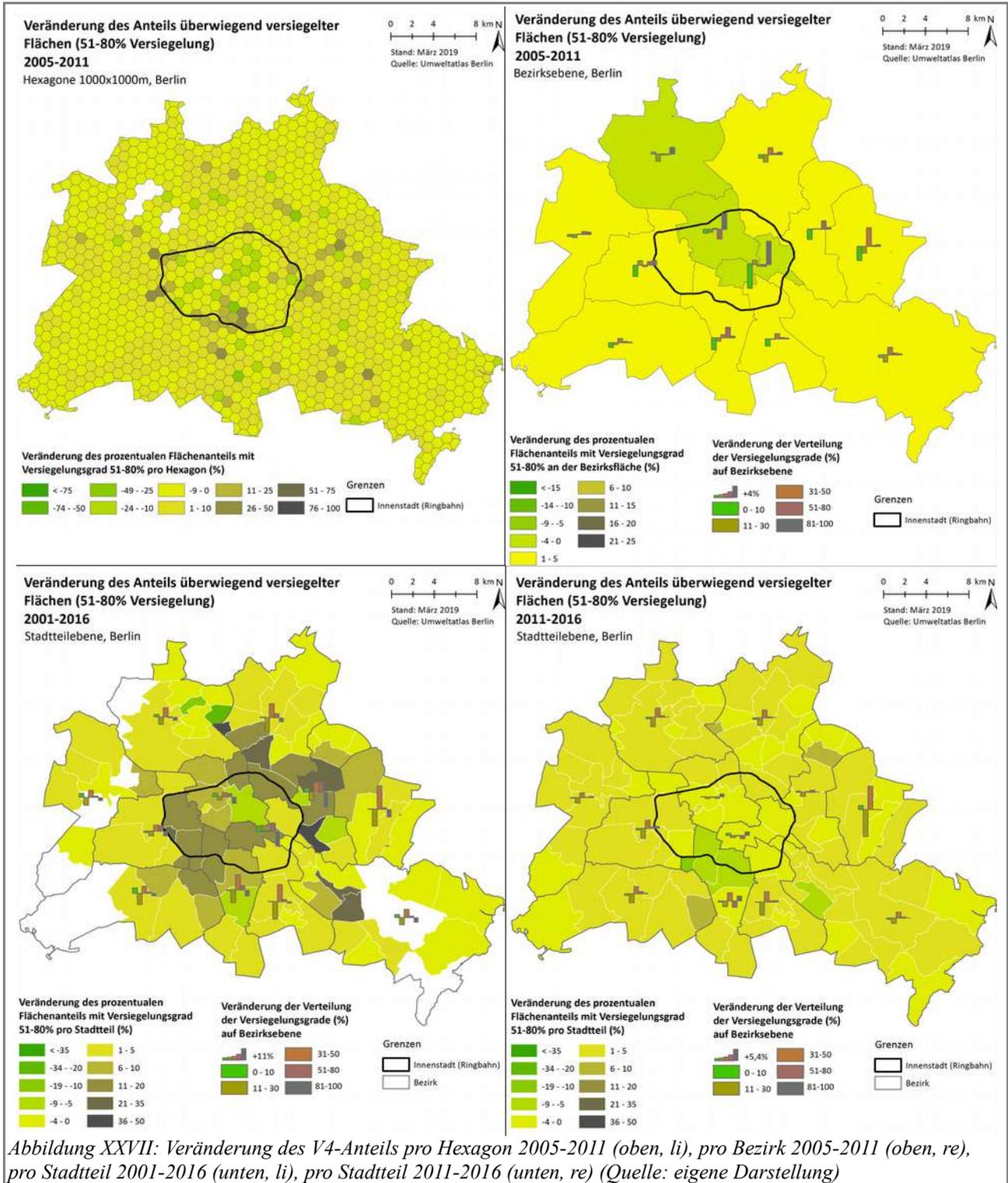


Abbildung XXVII: Veränderung des V4-Anteils pro Hexagon 2005-2011 (oben, li), pro Bezirk 2005-2011 (oben, re), pro Stadtteil 2001-2016 (unten, li), pro Stadtteil 2011-2016 (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung)

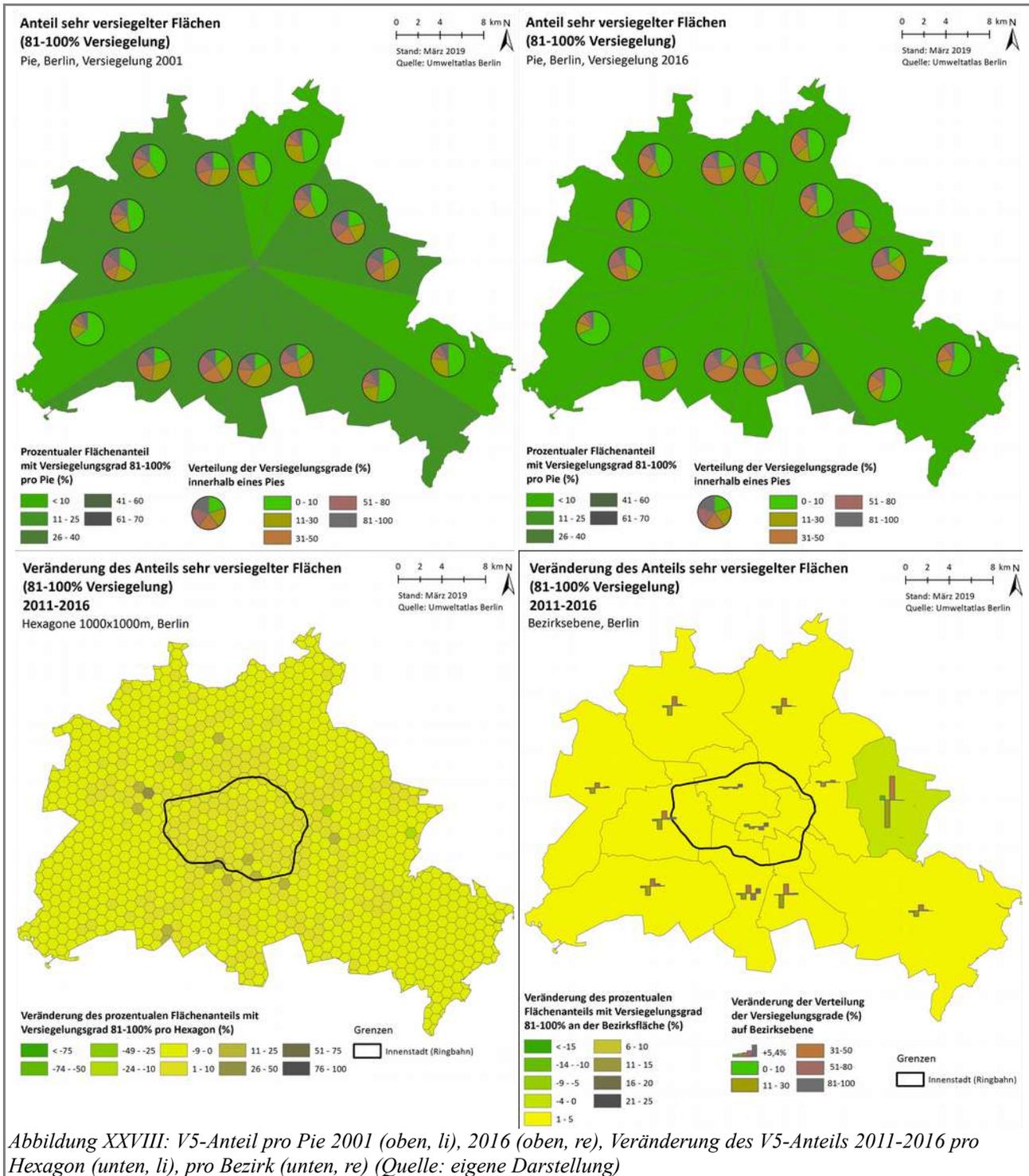


Abbildung XXVIII: V5-Anteil pro Pie 2001 (oben, li), 2016 (oben, re), Veränderung des V5-Anteils 2011-2016 pro Hexagon (unten, li), pro Bezirk (unten, re) (Quelle: eigene Darstellung)

