

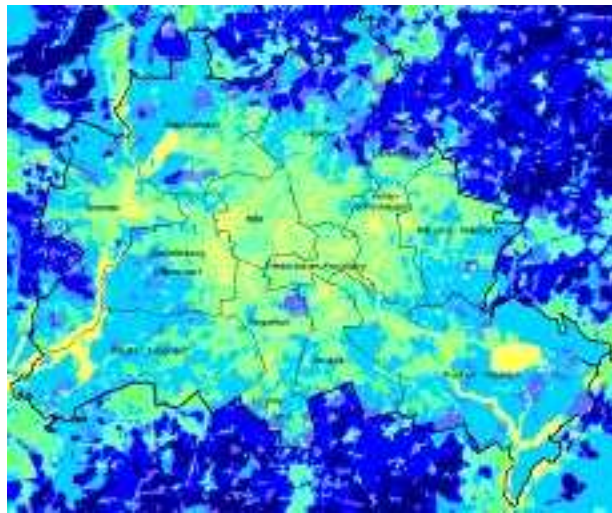
# 국립환경과학 연구원

---

## 독일 공간 환경계획 연동 사례연구 2015

### 워크숍 자료 1

독일 환경정보시스템 (Umweltatlas) 분석  
- 베를린 편 -



2015년 8월  
고정희

## 목차

1. 서문: 계획전문가들을 위한 정보시스템 .....	5
2. 베를린 환경정보지도의 구조 .....	6
2.1. 개요 .....	6
2.2. 주제와 레벨 .....	7
2.3. 메타 데이터 · 상세한 해설 .....	10
2.3.1. 디지털 지도의 장점 .....	10
2.3.2. 계획을 위한 조언 기능 .....	11
3. 정보지도 세부 : 04 기후지도 Climate .....	13
4. 사례분석: 베를린 기후모델 - 분석지도 (04.10, 2009 발행) .....	14
4.1. 문제제기, 배경 .....	14
4.2. 데이터 출처 .....	16
4.3. 방법론 .....	20
4.4. 모델링을 위한 기상학적 기본조건 .....	21
4.5. FITNAH의 컨셉과 시뮬레이션 절차 .....	21
4.6. 모델계산을 위한 종관기상 조건들 .....	22
4.7. 모델해석을 위한 조언 .....	23
4.8. FITNAH 모델 결과 검증 .....	23
4.8.1. 사례 : 글라이스드라이엑 Gleisdreieck .....	23
4.8.2. 가설 검토 .....	25
4.8.3. 결론 .....	26
4.9. 지도 설명 .....	27
4.9.1. 지표면 온도 - 개요 .....	27
4.9.2. 공간별 지표면 가까이의 기온 편차 .....	27
4.9.3. 공기교환과 유량은 기후 조절의 기준이 된다. ....	28
4.10. 찬 공기를 생성하는 도시녹지와 이들이 미치는 영향 .....	32
4.10.1. 사례 : 템펠호프 자유공원 (구 비행장, 현 공원) .....	32
4.10.2. 결론: .....	34
4.11. 참고문헌: .....	34

## 표 목차

표 1. 베를린 환경정보지도 Umweltatlas 주제와 그에 따른 레벨 [일부만 표시, 상세한 레벨은 <a href="http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/einhalt.htm">http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/einhalt.htm</a> 참조] .....	7
표 2. 베를린 기후지도의 구조: 주제군과 하위레벨 .....	13
표 3. 본문에서 감안하는 기후모델지도 레벨 .....	14
표 4. 공간이용유형 별 면적비율과 기온 편차 사례 .....	23
표 5 : 공간 고유의 흐름을 보이는 면적 비율. (전 도시면적 대비). 열역학적 흐름과 지형에 기인한 흐름을 구분했다. ....	30

## 그림목차

그림 3. 베를린 Geoportal에서 제공하고 있는 DB 사이트와(좌), GIS 지도 정보 (우) .....	7
그림 4. Soil Associations .....	8
그림 5. Surface runoff .....	8
그림 6. NOx Total Emissions 2002 .....	8
그림 7. Measured Pollutions Floating Dust .....	8
그림 8. Bitope Types .....	9
그림 9. Availability of Public, Near-residential green space .....	9
그림 10. Traffic Noise, day .....	9
그림 11. Solar-Energy Surface Potentials .....	9
그림 12. 각 도시블록별 공급현황 - 난방유형 .....	11
그림 13 각 필지별 공간정보. 주소, 면적 등)외에 면적당 난방에너지 유형과 에너지 소비량 등의 정보가 입력되어 있다. ....	11
그림 14. 환경정보지도 (토양보호 등급) →환경생태프로그램 개정안 .....	12
그림 15 .....	12
그림 16 .....	12
그림 17 모델을 적용하기 위한 토지이용유형도 .....	17
그림 18 부동산 지도의 일부 .....	18
그림 19 기후모델 FITNAH를 이용하기 위한 정보와 데이터베이스의 흐름. ....	19
그림 20 모델 사례	
그림 21 글라이스드라이엑 Gleisdreieck .....	24
그림 22 왼쪽 도면은 글라이스드라이엑의 측정결과를 나타내며 오른쪽 그림은 이에 근거하여 산출한 FITNAH시뮬레이션 결과를 부분적으로 확대한 것이다. 왼쪽의 각 측정지점의 하늘 색 선은 바람이 불어오는 방향을 나타낸다. 오른쪽 시뮬레이션의 화살표는 공기 흐름의 방향을 나타낸다. ....	26
그림 23. 04.10.01: 밤 22시의 지표면 (0-5미터) 기온 분포 .....	27
그림 24. 04.10.02: 새벽 6시 기온분포 .....	28
그림 25. 04.10.05: 22시 찬공기 흐름 .....	29
그림 26. 04.10.06: 06시 찬공기 흐름 .....	29

그림 27 찬공기 생성 내지는 이동구간 .....	30
그림 28. 베를린에서 확인 된 바람통로 3개소 .....	32
그림 29 템펠호프 자유공원의 격자 당 발생하는 공기교환 및 자체 발생 공기흐름. 교환이 미 미한 여름 야간 복사 시간. 22시. 격자 크기 50미터. ....	33
그림 30 템펠호프 자유공원과 쉐네베르거 자연공원 및 인근 주말정원단지 위치 .....	33

# 베를린의 환경정보시스템 (Umweltatlas Berlin)

## 1. 서문: 계획전문가들을 위한 정보시스템

16개 연방주의 정보시스템을 일일이 다 살펴보기 어렵기 때문에 베를린을 사례로 환경정보시스템의 발전과정을 간략히 살피고자 한다. 베를린은 환경정보제도를 가장 먼저 개발하고 발전시킨 주이다.

1976년 환경생태계획 제도가 도입되었으나 계획을 수립하는데 필요한 환경정보가 극히 부족한 상태였다. 한편 환경에 대한 인식이 커지면서 일반 시민들 사이에서도 환경정보를 요구하는 목소리가 높아졌다. 1970년대 말 1980년대 초의 베를린 공기는 지금처럼 깨끗하지 않았다. 2차 대전 후 산업의 기적을 일으키며 경제 강국으로 성장하는 과정에서 불가피한 환경파괴와 훼손의 역사가 독일이라고 비껴가지는 않았다. 특히 스모그 현상이 심했으며 하천에서 물고기가 죽어가는 일이 비일비재했다. 이 때 뜻있는 시민들이 『시민이니셔티브』를 결성하여 환경보호를 위해 공간 계획에 참여하기 시작했다. 계획에 동참하는 과정에서 시민이니셔티브의 일원들은 환경에 대한 지식과 정보가 절실히 필요하다는 사실을 인지하게 되었다. 계획에 앞서 우선 환경정보시스템을 구축하는 것이 시급하다는 결론이 내려졌다. 예를 들어 고속도로 건설계획 등의 정치적 결정에 찬반의견을 제시하려면 충분한 정보가 필요했던 것이다.

1983년, 베를린 주의 도시환경부와 연방환경청이 공동으로 환경정보구축을 위한 연구프로젝트를 발족시켰다. 다만 특이했던 것은 도시환경부에 새로운 부서를 마련하고 연구 인력을 처음부터 기관에 취업시켜 배치하는 방법을 취했다는 점이다. 당시 연구프로젝트를 수행하기 위해 취업한 Manfred Goedecke 씨는 지금도 베를린 주의 환경정보지도 책임자로 일하고 있으며 1983년부터 지금까지 31년 동안의 꾸준한 작업을 통해 베를린 환경정보지도를 모범사례로 이끄는 데 성공했다. 다른 도시나 연방주에서도 베를린의 사례에 따라 환경정보지도를 제작하기 시작했고 이런 움직임이 결국 환경정보공개법, 공간지리정보공개법 등을 낳게 했다고 볼 수 있다.<sup>1)</sup>

[베를린 시 환경정보지도 포털의 Introduction 참조 (영어):

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eeinleit.htm>]

1) Manfred Goedecke, Einführung in die Umweltinformation für Planung und Öffentlichkeit, Berlin 2013/2014 (세미나자료)

## 2. 베를린 환경정보지도의 구조

### 2.1. 개요

베를린 환경정보지도는 크게 메타데이터와 GIS 지도정보로 나뉜다. GIS 정보지도는 FIS Broker 로 운영되며 아래 사이트에서 모든 지도와 해당 정보 등을 검색할 수 있으며 지도는 PDF로 전환하여 출력할 수 있다.

[[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker/index\\_en.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker/index_en.shtml)]

모든 정보는 8개의 주제군으로 나뉘며 다시 80개로 세분화되어 있고 현재 총 354개의 지도와 500 개 이상의 메타데이터가 제공되고 있다.

베를린 환경정보지도 Umweltatlas 홈페이지에서는 광범위한 자료 (지도, 설명문)을 독일어와 영어로 제공하고 있다.

1985년 첫 테마지도 12 종이 탄생했을 당시엔 아날로그 지도였으나 현재는 모두 디지털로 전환되었으며 최근에 Geoportal 로 전환되었다. 다만 지난 30년간 꾸준히 이용해 온 고객들이 혼란스럽지 않게 환경정보포털에서도 그대로 이용할 수 있게 하였다.

처음부터 목표로 삼았던 것은 도시 전 구간에 대한 빈틈없는 환경정보시스템 구축이었으며 단순한 환경현황에 대한 정보만 제공하는 것이 아니라

- ▶ 잠재성과 위기/ 갈등요소 및
- ▶ 환경영향과 침해정도 등의 분석, 평가 결과를 제시하고
- ▶ 상세한 설명부분 (문제점, 정보출처, 방법론 등)과
- ▶ 공간·환경계획에 도움이 되도록 다양한 축척으로 제공하며 계획 및 정책 제안 사항이 첨부되어 있으며
- ▶ 정기적으로 업데이트되고
- ▶ 독일어와 영어로 운영하고 있다.

정보의 출처, 다시 말하면 베를린 환경정보지도 제작에 **참여하고 있는 전문가나 기관 및 연구단체의 목록**은 대단히 광범위하다. 1) 각 전문부서, 2) 대학과 연구기관이며, 3) 그 밖의 개인 전문연구소 등이 참가하고 있다. 아래 링크에 참여자와 기관의 목록이 나와 있다.

- ▶ Imprint of the Environmental Atlas Berlin :

이용자는 물론 사회전반으로서, 개인과 단체, 시민연대, 환경연합, NGO 및 정당, 행정부서, 기관, 설계회사, 엔지니어링, 대학, 연구기관, 연구소 등이 이용하고 있으며 부동산회사도 부지런히 클릭하는 고객층에 속한다.

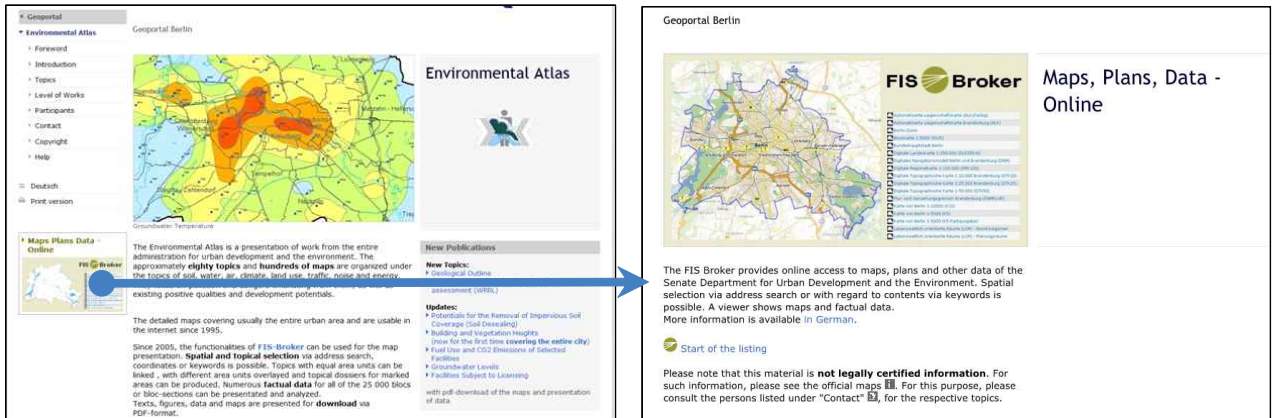
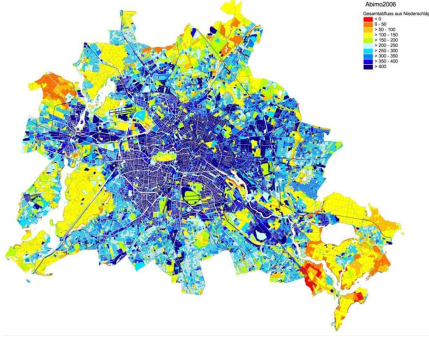
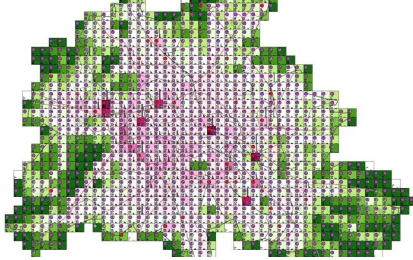
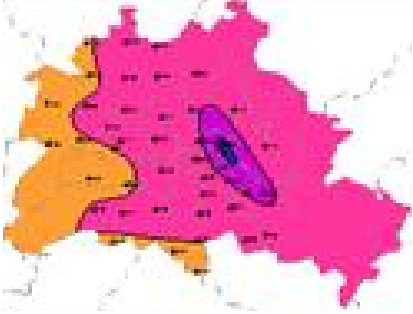
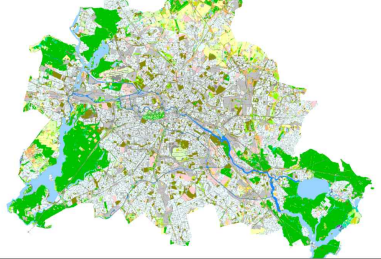


그림 3. 베를린 Geoportal 에서 제공하고 있는 DB 사이트와(좌), GIS 지도 정보 (우)

## 2.2. 주제와 레벨

아래에는 베를린 환경정보지도의 구조, 즉 8개의 주제군과 그에 속하는 주제도의 유형을 요약했다. 특기할 사항은, 최초로 제작된 지도로부터 업그레이드 된 모든 레벨을 제공하고 있어 한편 지금까지 발전 추이를 모두 살펴볼 수 있으며 다른 한편 필요한 경우 초기의 상황과 지금 현황과의 비교분석 등이 가능토록하고 있다는 점이다.

주제군	도면사례	주제도 레벨
01 Soil	<p style="text-align: center;">그림 4. Soil Associations</p>	<p>모두 15 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 토양군,</li> <li>▶ 토양오염도, 토양기능도, 피복도</li> <li>▶ Soil-Scientific Characteristic Values</li> <li>▶ Terrain Elevations</li> <li>▶ Radioactivity in Soils (Cesium-134 and Cesium-137)</li> <li>▶ Sewage Farms</li> <li>▶ Planning Notes for Soil Protection 등</li> </ul>

02 WATER	 <p style="text-align: center;">그림 5. Surface runoff</p>	<p>모두 18 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Quality of Surface Waters</li> <li>▶ Biological Water Quality</li> <li>▶ Quality of Near-surface Groundwater</li> <li>▶ Vulnerability of Groundwater to Pollution</li> <li>▶ Depth to Groundwater</li> <li>▶ Management of Rain and Waste Water 등</li> </ul>
03 Air	 <p style="text-align: center;">그림 6. NOx Total Emissions 2002</p>	<p>모두 10 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Sulfur Dioxide - Emissions and Pollution</li> <li>▶ Nitrogen Oxides - Emissions and Pollution</li> <li>▶ Dusts - Emissions and Pollutions</li> <li>▶ Near Ground Ozone 등</li> </ul>
04 CLIMATE	 <p style="text-align: center;">그림 7. Measured Pollutions Floating Dust</p>	<p>모두 11 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Long-term Mean Air Temperatures 1961-1990</li> <li>▶ Near Ground Wind Speeds</li> <li>▶ Urban Climate Zones</li> <li>▶ Bio-Climate - Night-Time Thermal Pollution 등</li> </ul>
05 BIOTOPES	 <p style="text-align: center;">그림 8. Bitope Types</p>	<p>모두 7 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Vegetation</li> <li>▶ Valuable Areas for Flora and Fauna</li> <li>▶ Age and Inventory Structure of the Forests 등</li> </ul>
06 LAND USE		<p>모두 9 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Actual Use of Built-up Areas</li> <li>▶ Inventory of Green and Open Spaces</li> <li>▶ Population Density</li> </ul>



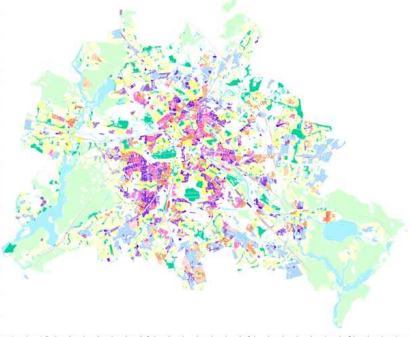

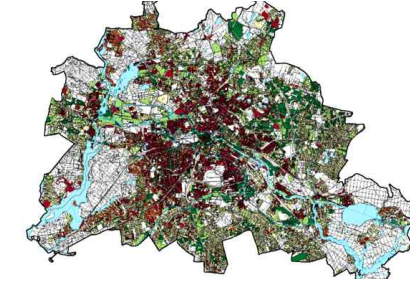
	 <p>그림 9. Availability of Public, Near-residential green space</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Urban Structure</li> <li>▶ Building and Vegetation Heights 등</li> </ul>
07 TRAFFIC / NOISE	 <p>그림 10. Traffic Noise, day</p>	<p>모두 6 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Traffic Volumes</li> <li>▶ Traffic Noise at Roadside Development</li> <li>▶ Traffic Noise in Green and Open Spaces</li> <li>▶ Railway Noise at Roadside Development 등</li> </ul>
08 ENERGY	 <p>그림 11. Solar-Energy Surface Potentials</p>	<p>모두 9 개의 레벨:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Building Heating Supply Areas</li> <li>▶ Predominant Heating Types</li> <li>▶ Carbon Dioxide - Emissions</li> <li>▶ Electromagnetic Fields 등</li> </ul>

표 1. 베를린 환경정보지도 Umweltatlas 주제와 그에 따른 레벨 [일부만 표시, 상세한 레벨은 <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/einhalt.htm> 참조]

### 2.3. 메타 데이터 · 상세한 해설

각 주제도 및 레벨 별로 메타데이터를 제공하고 상세한 해설을 곁들이고 있다. 베를린 환경정보지도에 부속된 해설 편 자료를 모두 합하면 천여페이지에 달하며 수시로 업데이트 되고 있다. 설명부분은 아래와 같은 일정한 구조로 구성되어 있다.

- ▶ 문제제기 / 배경설명
- ▶ 데이터 출처

- ▶ 방법론 · 구축기법 및 기타 정보
- ▶ 지도 설명 · 기타정보
- ▶ 참고 문헌

### 2.3.1. 디지털 지도의 장점

종이지도에서 디지털 지도로 전환되고 나서의 문제점은 디지털 지도는 무한히 정보로 채울 수 있다는 사실이다. 아래의 그림은 난방의 유형을 보여준다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 필지단위로 무한히 확대해서 보는 것이 가능하기 때문에 각 도시 블록 혹은 필지에 대한 상세한 정보를 첨부할 수 있다. 종이지도에서는 가능하지 않던 일이었다.

예를 들어 아래 그림 속의 검은 점을 클릭하면 해당 필지에 대한 일반정보 (주소, 면적 등)외에 면적당 난방에너지 유형과 에너지 소비량 등의 정보를 얻을 수 있다.

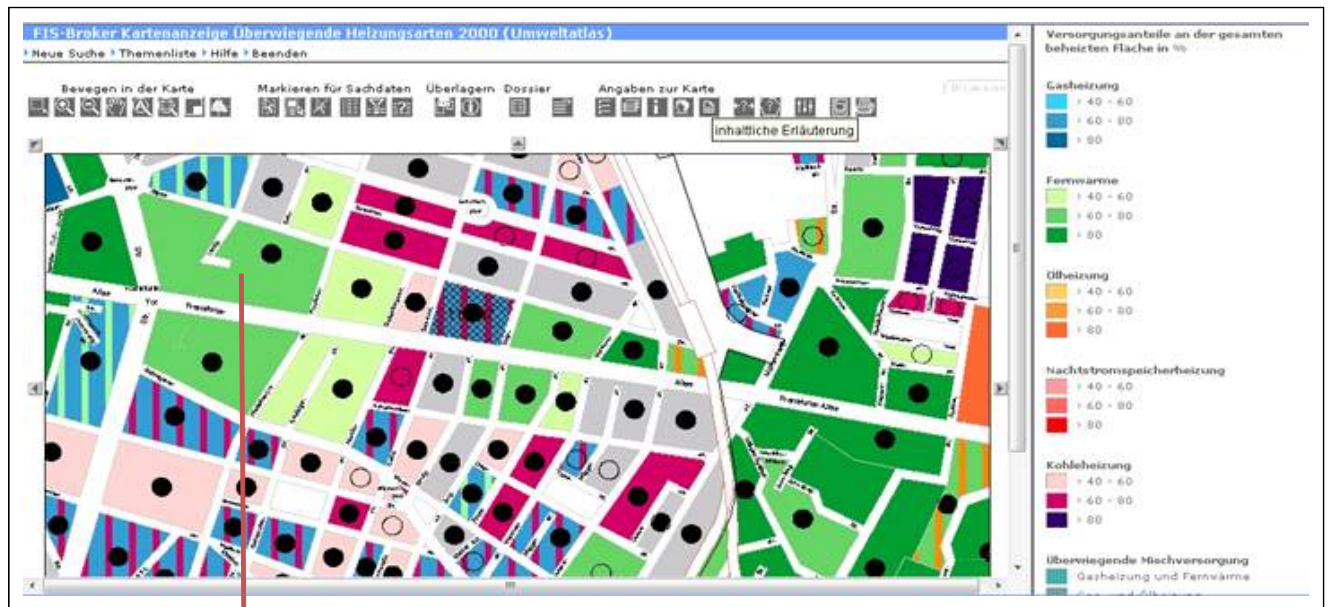


그림 12. 각 도시블록별 공급현황 - 난방유형

Sachdaten	
▶ Hilfe	
▶ Fläche zum Datensatz zeigen	
Fläche 1 von 1	
<a href="#">zur Übersicht</a>	
Überwiegende Heizungsarten 2000 (Umweltatlas)	
Schlüssel	115047
Bezirk	Friedrichshain-Kreuzberg
Beheizte Fläche im gesamten Block in qm	32294
Überwiegende Heizungsart	Gas / Kohle
Fernwärme in qm	6459
Fernwärme in %	20
Gas in qm	9688
Gas in %	30
Heizoel in qm	2906
Heizoel in %	8
Kohle in qm	13241
Kohle in %	41
Nachtstromspeicherheizung in qm	-
Nachtstromspeicherheizung in %	-

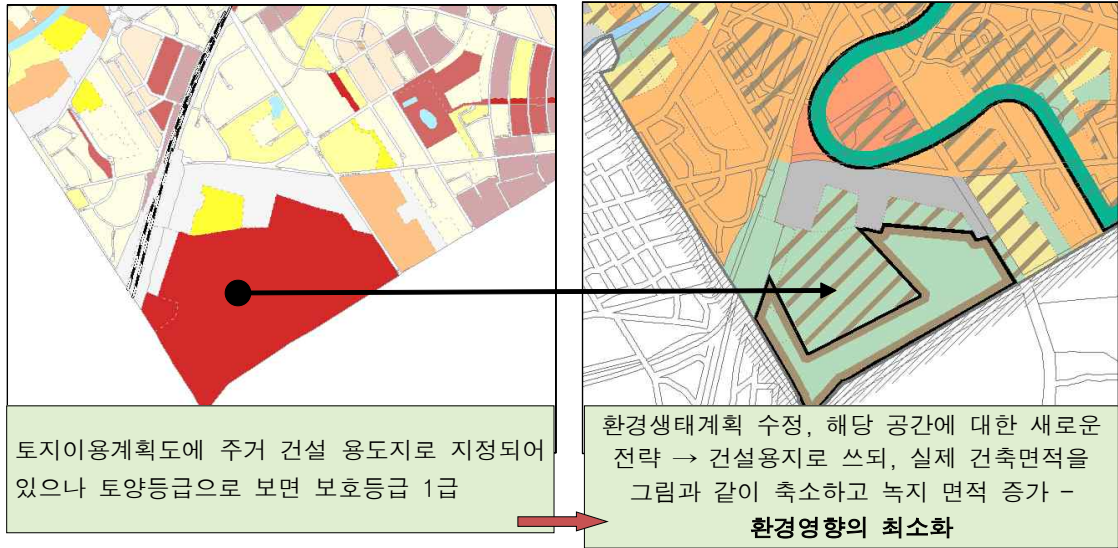
그림 13 각 필지별 공간정보. 주소, 면적 등)외에 면적당 난방에너지 유형과 에너지 소비량 등의 정보가 입력되어 있다.

### 2.3.2. 계획을 위한 조언 기능

베를린 공간정보시스템은 이용하기에 따라 뜻하지 않았던 높은 효과를 낼 수 있음을 증명해 보였다. 오랜 역사를 거치는 동안 누적된 지식과 정보를 분석하는 데 이에 근거하여 환경보호를 위한 전략과 방법론을 적극적으로 제시하고 있기 때문이다. 이로써 환경정보시스템이 공간계획과 환경생태계획을 서로 연동시키는 역할을 할 수 있음을 증명하고 있다. 아래 그림은 환경정보지도에서 분석한 내용을 근거로 토지이용계획도에서 건설용지로 지정된 공간을 조정하여 환경영향 최소화 전략을 수립하는 과정을 보여주고 있다.

그림 14. 환경정보지도 (토양보호 등급)

→ 환경생태프로그램 개정안



Categories of soil protection with soil protection requirements for planning decisions		
	<b>Taboo</b> Off-limit areas	No interventions on soil permitted. (Soil functions can not be restored.) Alternative site necessary.
	<b>Priority 1</b> Soils deserving to be exceptionally protected	Preferentially avoid interventions. Alternative site necessary. No net-loss of area and soil functions permitted.
	<b>Priority 2</b> Soils deserving to be specially protected	Avoid interventions. Optimize planning. No net-loss of area and soil functions permitted.
	<b>Priority 3</b> Soils deserving to be protected	Minimize interventions. Optimize planning. No net-loss of soil functions permitted.
0 - 5%    >5 - <30%    30 - 100%	Degree of soil sealing in sealing classes	
	<b>Area of irrelevance</b> Soils without special requirements	Consider general needs for soil protection. The general legal requests for soil protection apply.

Boden	
	<b>Vorsorgegebiet Boden</b>
<input type="checkbox"/>	Sicherung der Leistungsfähigkeit durch Erhalt der natürlichen Bodenfunktion und der Archivfunktion
<input type="checkbox"/>	Schonung des natürlichen Bodenaufbaus
<input type="checkbox"/>	Vermeidung von Bodenversiegelung
<input type="checkbox"/>	Bodenschonende Bewirtschaftung
	<b>Sonstiger Boden mit besonderer Leistungsfähigkeit</b>
<input type="checkbox"/>	Minimierung/ Vermeidung von Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktion und der Archivfunktion
<input type="checkbox"/>	Vorsorgender Bodenschutz bei Bauvorhaben, ggf. bodenkundliche Baubegleitung
<input type="checkbox"/>	Vermeidung von Bodenverdichtung
<input type="checkbox"/>	Fachgerechter Abtrag, Lagerung und Wiedereinbau von Ober- und Unterboden
<input type="checkbox"/>	Minimierung von Grundwasserabsenkungen bei grundwasserbeeinflussten Böden

### 3. 정보지도 세부 : 04 기후지도 Climate

예를 들어 기후지도는 아래와 같은 하위레벨 지도들이 제작되었다. 아래 표는 환경정보지도 홈페이지의 레벨을 재현한 것이다. 파란 색으로 표시된 부분을 클릭하면 각 발행 연도별로 위에서 언급한 메타데이터들을 볼 수 있다. 즉, 문제제기, 배경설명, 데이터 출처, 방법론, 구축기법 및 기타 정보, 각 지도에 대한 상세한 해설, 참고문헌 등에 대한 상세한 정보를 얻을 수 있다. [독일어, 영어] 모든 정보를 합하

면 수백 페이지에 달하기 때문에 이 자리에서 모두 살펴볼 수는 없고 참고삼아 그 중 04.10 기후모델 분석지도에 대한 설명부분을 종합해 보고자 한다.

번호	제목	구축 연도
04.02	<b>1961-1990 평균기온 장기관찰</b>	1993, 2001
04.03	지표면 풍속	1995
	04.03.1 주간 지표면 풍속	
	04.03.2 야간 지표면 풍속	
04.04	<b>지구복사현상이 보통인 야간 시간의 기온과 습도</b>	1993, 2001
	04.04.1 기온 (oC )	
	04.04.2 측정경로와 측정소	
04.05	<b>도시기후 존</b>	1993, 2001
04.06	<b>주 · 야간 지표면 온도</b>	1993, 2001
	04.06.1 석간 지표면 온도	
	04.06.2 오전 지표면 온도	
	04.06.3 오전 오후 지표면 온도 차이	
04.07	<b>기후기능</b>	1993, 2001
04.08	<b>강수량 분포와 강수 유출 장기관찰</b>	1994
	04.08.1 동절기 1961-1990	
	04.08.2 하절기 1961-1990	
	04.08.3 연강수량 1961-1990	
	04.08.4 강수 유출	
04.09	<b>생체기후</b>	1998, 2009
04.10	<b>베를린 기후모델 - 분석지도</b>	2003, 2009
	04.10.01 전 도시 구간 22.00 시 기온	
	04.10.02 전 도시 구간 06.00 시 기온	
	04.10.03 전 도시 구간 22.00 시 지표면 바람구간과 통풍	
	04.10.04 전 도시 구간 06.00 시 지표면 바람구간과 통풍	
	04.10.05 전 도시 구간 22.00 시 지표면 바람구간과 유량	
	04.10.06 전 도시 구간 06.00 시 지표면 바람구간과 유량	
	04.10.07 기온 함몰지구 22.00 시	
	04.10.08 기온 함몰지구 06.00 시	
	04.10.09 지표면 바람구간과 통풍 22.00 시	
	04.10.10 지표면 바람구간과 통풍 06.00 시	
	04.10.11 지표면 바람구간과 기온 함몰지구의 22.00 시 유량	
	04.10.12 지표면 바람구간과 기온 함몰지구의 06.00 시 유량	
04.11	<b>베를린 기후모델 - 평가지도</b>	2004, 2009
	04.11.1 기후기능	
	04.11.2 도시기후 계획을 위한 조언	
04.12	<b>기후변화와 미래의 온난화 예측</b>	2010
	04.12.1 1971-2000 사이 베를린과 주변지역의 이상고온 연평균일수	
	04.12.2 1971-2000 대비 2021-2050 의 이상고온 일수 증가 예측	
	04.12.3 1971-2000 대비 2071-2100 의 이상고온 일수 증가 예측	

	04.12.4	1971-2000 사이 이상고온 연평균일수 (04.12.4 에서 04.12.6 까지 같은 색으로 표시)	
	04.12.5	2021-2050 사이 이상고온 연평균일수	
	04.12.6	2071-2100 사이 이상고온 연평균일수	
04.13	<b>기후파라미터의 장기적 변화상</b>		<b>2015</b>

표 2. 베를린 기후지도의 구조: 주제군과 하위레벨

#### 4. 사례분석: 베를린 기후모델 - 분석지도 (04.10, 2009 발행)

[아래 내용은 베를린 환경정보지도 홈페이지에서 제공하고 있는 각 지도별 해설 중 04.10 기후모델지도 - 분석 편 (2009년)을 거의 전문 번역한 것임.

출처: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eia410.htm> ]

##### 4.1. 문제제기, 배경

테마의 연계성으로 인해 아래 기후도 04.10.01에서 04.10.06까지는 문제제기, 데이터 출처 및 방법론을 함께 고찰하기로 한다. 도면 설명에서는 다시금 각각 구분된다.

04.10.01	전 도시 구간 22.00 시 기온
04.10.02	전 도시 구간 06.00 시 기온
04.10.03	전 도시 구간 22.00 시 지표면 바람구간과 통풍
04.10.04	전 도시 구간 06.00 시 지표면 바람구간과 통풍
04.10.05	전 도시 구간 22.00 시 지표면 바람구간과 유량
04.10.06	전 도시 구간 06.00 시 지표면 바람구간과 유량

표 3. 본문에서 감안하는 기후모델지도 레벨

지금까지 베를린 환경정보지도를 위해 실시한 기후조사를 통해 얻어진 결과는 04.02-04.07 및 04.09에 기록되어 있다. 이 데이터들은 상시측정소와 이동측정소에서 측정한 데이터와 토지이용계획 및 토지포장률 데이터를 분석하여 얻어졌다. 이 방법론은 지구적, 국부적 공기순환시스템을 구분하고 조사하는 데 충분한 근거를 제공하지 못했다. 국부적 공기순환시스템은 특히 베를린과 같은 평지에 형성된 대도시의 기후에 결정적인 요소임을 부정할 수 없다.

모던한 기후분석기법은 무엇보다도 통풍량의 변화체계를 파악하여 통풍체계와 기후조건이 불리한 혹은 유리한 도시지구와의 연관성을 밝히는데 중점을 두고 있다. 도시기후적인 관점에서 도시공간을 **조절공간**과 **부담공간 (스트레스 공간)** 및 이들을 연결하는 통로로 구분할 수 있다. 여기서 말하는 **조절공간**은 “식물이 지배하는 비건축지로서 신선하고 시원한 공기를 생성하며 부담공간의 공기와 교환함으로써 생

체기후적인 스트레스를 절감하는 공간”이다. **부담공간**은 건축지 혹은 건축예정지로서 불리한 기후영향권에 속하며 인근의 조절공간과 직접 공기를 교환하거나 혹은 바람통로를 통해 보상공간과 연결되어야 한다. (Mosimann, Frey, Trute & Wickenkamp 1999 참조)

이런 기법은 기존에 널리 적용되었던 정적인 방법론, 즉 도시를 여러 기후톱으로 나누어 각각의 특성만을 살폈던 것에서 근본적으로 벗어난 방법이라 할 수 있다. 각각의 도시기후톱 내에서는 유사한 기후조건이 지배하며 따라서 그 영향도 서로 크게 구분되지 않는다. (독일기술연맹 지침서 VDI 1997)

2003/2004년 처음으로 베를린 도시전역과 주변전원지대의 일부 지역을 대상으로 디지털 기후모델을 일괄적으로 적용해 보았으며 매우 높은 공간해상도로 조사 분석했다. 이 때 핵심을 이루었던 기법이 FITNAH였다. FITNAH는 아래와 같은 장점을 가지고 있다.

- ▶ 전 도시구간에서 얻어낸 결과치를 서로 비교하는 것이 가능하다.
- ▶ 도시 기후적 현상들을 정성적으로 묘사하는 외에 기후생태적 현황과 이들 사이의 교환현상에 대한 정량적 분석이 가능하다.
- ▶ 도시 내에서 기후생태적 조절공간과 부담공간을 정확하게 찾아낼 수 있다.
- ▶ 녹지의 기후생태적 조절잠재력 중 중요한 요소인 통풍작용을 전 면적에 걸쳐 조사하는 것이 가능하다.
- ▶ FITNAH는 대기공해물질의 분산도를 면적으로 산출한다. 이 때 물론 기상 파라미터를 가상하여 적용 한다.

이 기법을 적용함으로써 그동안 추정해왔던 각 도시구역의 건축, 녹지공간과 오픈스페이스구조와의 기후적사이의 상관관계가 입증될 수 있었다. 전형적인 미기후는 각 도시구간의 특성에만 기인하는 것이 아니라 해당 구간의 도시 내에서의 위치와도 크게 관련이 있다. 한 도시구역은 도시 내의 다른 구역과 혹은 도시 외곽의 자연경관과 상호관계 속에 놓여있다. 도시 내의 기후교환의 결정적인 조건은 두 도시구역 사이의 온도차이다. 온도 격차를 줄이면, 즉 예를 들어 도시 밀도를 높이거나 혹은 구조를 서로 유사하게 만드는 경우 기후조건이 오히려 나빠진다.

이 테마에 대해서 좀 더 심화된 정보와 광역적인 기후대가 소기후에 미치는 영향에 대해서는 2001년에 발행된 **04.10 기후기능 지도**의 설명문에 상세히 묘사되어 있다.

이번에 업데이트된 04.10.01-04.10.06 지도의 목적은 무엇보다도 시뮬레이션모델 FITNAH를 지역별로 적용한 결과를 소개하는 것이다. 기존의 기후지도와 서로 비교

할 수 있도록 22.00시와 06.00 시 두 개의 시간단위의 기온분포도를 첨부했다. 물론 아날로그 방식의 측정 결과로 제작된 지도와 모델을 통해 얻어진 지도를 서로 직접 비교할 때는 이와 같은 배경을 감안해야 한다. FITNAH를 적용한 두 개의 사례 (2003/2004와 2009)를 비교할 때도 마찬가지이다. 이는 인풋 정보의 규모와 디테일정도가 서로 다르기 때문이기도 하며 한편 모델을 지속적으로 업그레이드하였으므로 그로 인한 결과의 차이점 역시 배제할 수 없기 때문이다.

공간별 고유통풍체계의 정량적 예측과 이에 근거하여 공간적 범위를 정의한 것은 큰 의미를 가진다. 여기서 말하는 '고유통풍체계'란 각 공간에서, 즉 자연적으로 외부의 영향 없이, 예를 들어 대규모의 공기이동 없이 발생한 것을 말한다. 이는 곧 공간의 기후적 기능을 의미하며 계획 시 감안해야 할 사항들을 조언하는 데 근거를 제공하고 있다.

## 4.2. 데이터 출처

수치시뮬레이션모델을 적용할 때는 대상공간의 범위를 넘어서는 기초데이터를 수집하고 기상조건을 감안해야 하는 것이 중요하다. 이로써 모델의 사실성, 혹은 사실 근접성을 보장하고자 하는 것이다. 베를린 도시면적은 약 890 km<sup>2</sup>이지만 조사대상지의 면적은 약 990km<sup>2</sup>으로 확장되었다. [아래 그림 17 참조]



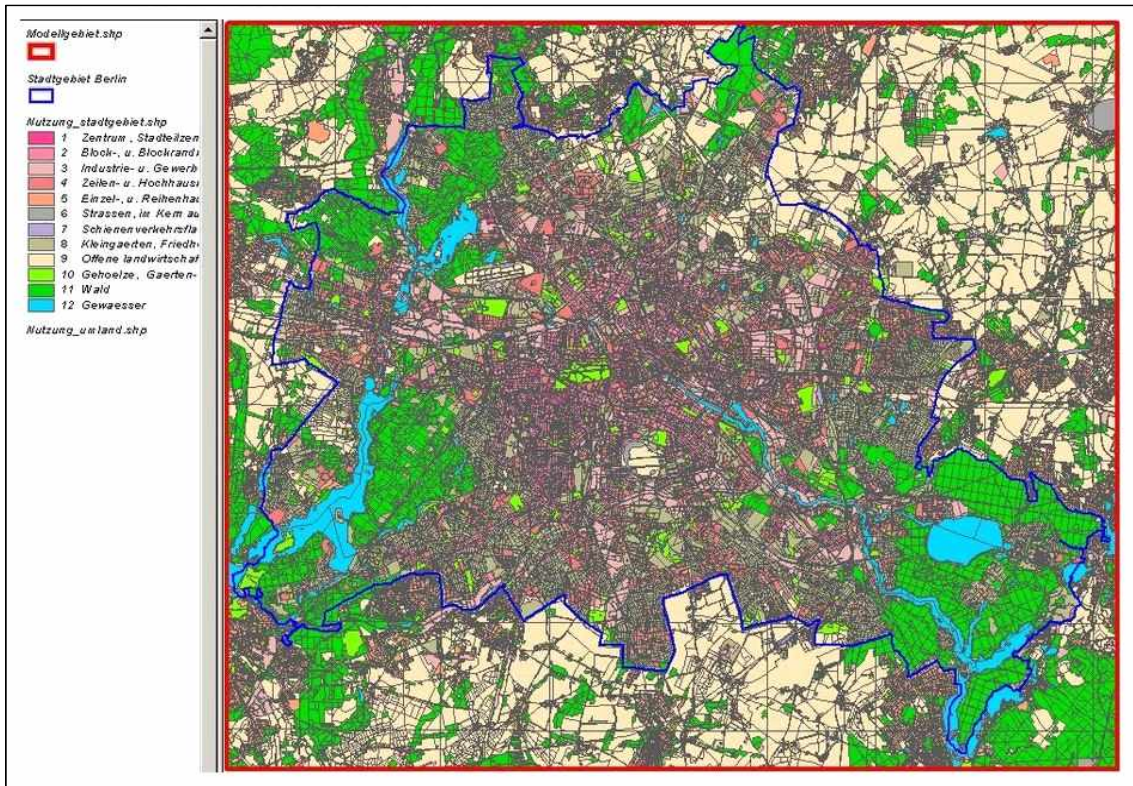


그림 17 모델을 적용하기 위한 토지이용유형도. FITNAH 모델에 맞추기 위해 모두 12 종의 유형으로 구분했다. 짙은 파란선이 베를린 시 경계이며 빨간 테두리 내의 전 면적을 모델에서 감안했다.

- ▶ 필요한 데이터는 그동안 환경정보지도Umwelatlas 제작을 위해 수집된 광범위한 정보를 일차적으로 이용.
- ▶ 베를린 시의 데이터베이스 Informationssystem Stadt und Umwelt (Urban and Environmental Information System, ISU)에서 보유하고 있는 약 25,000 개소 필지에 대한 정보이용.

세부정보:

- ▶ 토지이용유형: 2005년도 토지이용유형 정보 + 항공사진 분석 + 각 구區별 토지이용현황도 + 현지조사 + 환경정보지도 (토지이용도 06.01, 06.02, 2008년 발행). 이를 통해 우선 30 여종의 토지이용유형을 구분.
- ▶ 도시구조적 유형 (토지이용도 06.07, 2008년 발행). ISU의 데이터와 비교 좀더 세분화함. ISU의 데이터는 각 건물의 높이와 식생구조에 대한 상세정보 포함.
- ▶ 토양포장을 지도 (01.02, 2007년 발행)
- ▶ 도심과 북구 및 남구의 5미터 디지털 지형모델 (DGM5 = 5m x 5m) 존재함. 나머지 구간에 대해서는 25미터 존재 (DGM25 = 25m x 25m).<sup>2)</sup>

유럽연합의 환경소음지침을 국내법으로 전환하는 과정에서 2005년 각 건물의 높이에 대한 데이터를 입력한 것이 있다. 이때 조사된 건물은 모두 550,000 개소이다. 이는 베를린 부동산지도 ALK에 자동적으로 입력되어 있는 모든 건물을 포함한 것이다. 도시경계 외곽, 3킬로 반경 내의 231,445 건물 (브란덴부르크 주) 역시 조사하였다.

베를린 부동산지도는 소위 부동산 등록서의 일부로서 대지경계 외에 건물 대지와 층수가 표시되어 있다. 이는 건물높이를 산출하는데 근거가 되었다. [아래 그림 18 참조]

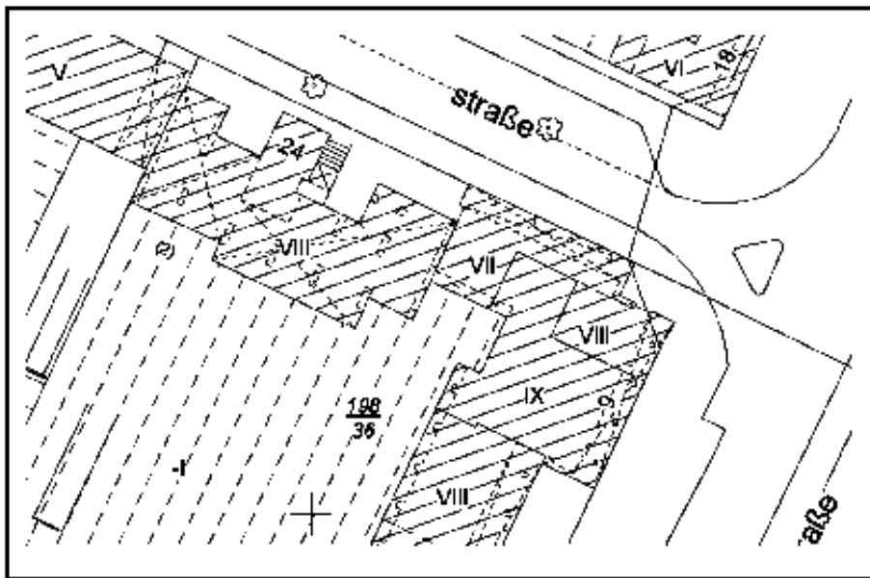


그림 18 부동산 지도의 일부. 로마숫자로 표시된 것이 층수이다.

2003/2004에는 미처 감안하지 않았으나 이번에는 도시 전 면적에 걸쳐 대기위생 요인들을 분석하였다. 이를 위해서 2005년도에 베를린 건강, 환경 소비자보호부에서 작성한 교통시설 배출목록을 데이터 근거로 삼았다.

베를린 경계 외의 지역에 대해서는 아래와 같은 데이터를 적용했다.

- ▶ ATKIS (공식 지도정보시스템 Official Cartographic Information System). 이 지도정보시스템은 기초경관모델 - DLM 25/1을 처음으로 구현한 결과를 포함하고 있다. 그 외에 도로, 길, 선로, 하천, 경계 등 경관의 선형구조에 대해 기하학적으로 정확하게 측량되고 면적인 요소, 즉 주거지 등으로 채워져 있다.

2) 베를린-브란덴부르크 공동으로 운영하고 있는 Geodata 포털에서 DGM2 ~ DGM50까지의 해상도로 전 면적에 대한 디지털 모델을 검색하고 소정의 수수료를 지불하면 구입도 가능하다. 다만 사이트가 독일어로만 운영되고 있다. [http://www.geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/atk\\_dgm2.htm](http://www.geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/atk_dgm2.htm)

- ▶ 지형의 고도는 CORINE-프로젝트의 데이터를 이용했다. 코리네는 koordinierte Erfassung von Informationen über die Umwelt / Coordinated Recording of Information on the Environment의 약자로서 유럽위원회에서 1985년 환경데이터를 수집하기 위해 실시한 프로그램의 일환으로 만들어졌다.

베를린 기후모델 분석지도를 위해 수집되고 조사된 데이터의 흐름은 아래 그림 19와 같다.

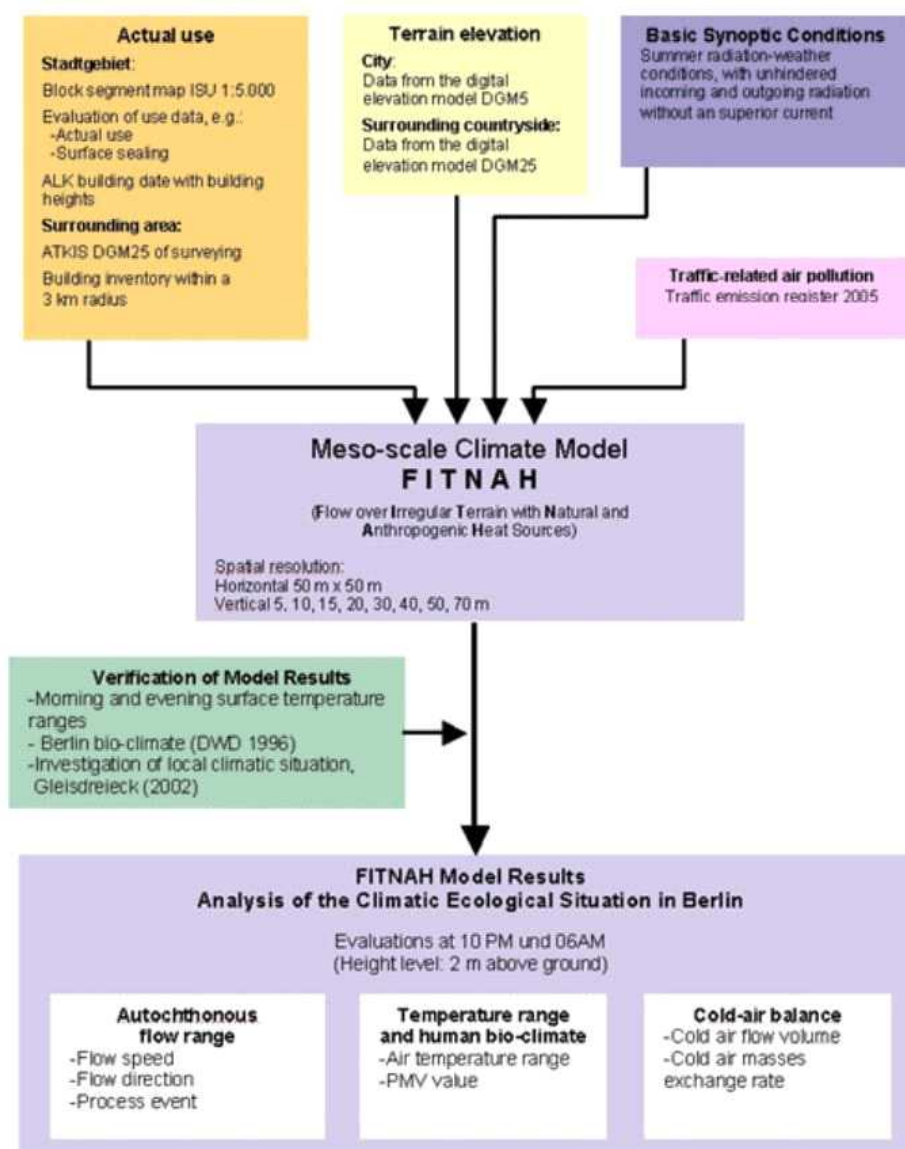


그림 19 기후모델 FITNAH 를 이용하기 위한 정보와 데이터베이스의 흐름.

### 4.3. 방법론

도시기후의 중요한 발생원인은 전원에 비해 도시의 지표면이 크게 달라졌다는 데에 기인한다. 이로 인해 도시가 과열되고 국부적인 공기 순환현상이 발생한다. 바람과 기온 및 그로 인해 발생하는 현상들은 인간생체기상학 및 대기 위생적 관점에서 도시기후를 평가하는 결정적인 요인이다.

도시기후를 조사하고 이해하기 위해서는 여러 가지 방법의 도움을 받는다. 우선 기후측정이 이에 속할 것이며 원격감지방법, 풍동연구Wind tunnel studies 및 수치시뮬레이션numerical simulation models도 이에 속한다.

바로 이 수치시뮬레이션기법은 복잡한 도시구조로 인해 공간적 시간적으로 크게 변화하는 기상요소들을 파악하는데 적합한 도구이다.

베를린 광역권 (베를린과 베를린을 둘러싸고 있는 브란덴부르크 주의 일부)의 바람과 기온관계를 정밀하게 분석하기 위해 본 2009년도 기후지도에서는 업그레이드된 FITNAH 모델 (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthoroponic Heat Sources)을 이용하였다. 모델에 대한 수학적 물리학적 상세 설명은 Groß 1993 과 Richter& Röckle 연도미상- 을 참고할 수 있다. 3D FITNAH 모델의 기본구조와 적용법 및 사례를 통한 결과 해석기법은 별도 항목에서 세부적으로 설명했다. *[Methodology / Supplementary Notes:*

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eda410\\_03\\_zusatz.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eda410_03_zusatz.htm)  
참조]

이런 수치시뮬레이션모델들은 여러 생활분야에 대한 중요한 기초정보를 제공하기 때문에 기상학의 여러 분야에서 이용되고 있다. *[이에 대한 더욱 자세한 정보는 [www.stadtklima.de](http://www.stadtklima.de) 참조. 독어/영어로 되어 있으며 베를린 기후지도를 실제로 제작하는 전문가들이 운영하는 사이트임. 세계기후에 대한 모든 정보를 총 망라하고 있으며 현재 개발되어 있는 기후모델 종류와 측정기법, 소프트웨어 등과 그에 대한 설명도 제공하고 있음. ]*

일기예보 (1-5일간)는 거의 전적으로 이런 복합적이고 방대한 컴퓨터모델을 통해 얻어진다. 또한 향후 수십 년간 지구기후가 어떻게 변할 것인가에 대한 예상 역시 같은 방법을 통해 이루어진다. 마지막으로 이와 유사한 모델을 이용하여 지구별, 지역별 대기기상변수를 계산해 낼 수 있다. [Groß 2002 참조]

또한 시뮬레이션만을 통해서도 대기오염물질의 확산 행태 등에 대한 정확한 예측이 가능하다. 예를 들어 FITNAH 계산 결과로 이산화질소의 사실적인 확산행태를 정확히 파악할 수 있었다. 이때 3D로 시뮬레이션으로 계산해낸 공기의 흐름과 난기류장을 이용했다. **녹지의 이산화질소 농도**를 산출한 결과는 04.11 기후모델 평가지도에 표시되었으며 이에 대한 상세한 해설도 제시했다.

[<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eia411.htm>]

위의 컴퓨터모델들과 여기서 적용된 FITNAH 등에는 모두 같은 수학적 물리학적 원리가 작용한다. 다만 디테일한 부분에서 축적에 의거한 차이점을 보일 뿐이다.

#### 4.4. 모델링을 위한 기상학적 기본조건

모델 내부적 요소들 외에도 기상조건이 큰 역할을 차지한다. 고기압이 지배하는 동안에는 한 경관의 기후적 특성이 선명하게 드러난다. 고기압 기후는 구름이 없고 바람의 영향이 미미하다. 본 수치모델시뮬레이션에서는 대규모 공간의 종합적인 기후조건을 가정하였다.

#### 4.5. FITNAH의 컨셉과 시뮬레이션 절차

FITNAH의 3D 모델의 기본구조는 운동량, 질량, 에너지와 습도 및 공기함량 등의 보존법칙에 근거한다. 다양한 공기의 흐름과 난기류 등은 통계 비교치 내지는 경험치에 의해 계산 가능한 입력정보들과 서로 연동되어 있다. 이때 나타나는 난류 확산 계수는 난류운동에너지에서 산출해 낸다.

대기의 가열과 냉각비율은 장파복사량의 편차를 바탕으로 하여 특정한 절차에 따라 산출되며 이때 공기 중 수증기의 복사량이 감안된다.

실제 공간의 디테일한 시뮬레이션은 지형 외에도 특히 **삼림과 도시 구조적 특성**이 기상요소에 미치는 영향을 실제에 근접하게 감안된다. FITNAH에는 이를 위한 별도의 파라미터가 준비되어 있다.

삼림과 수목 등에 대해서는 나무의 높이, 군락의 밀도와 수목의 종류가 각각 입력된다. 이를 통해 무엇보다도 수목군락의 평균풍속이 감소되어 수관범위에 난류를 강화시키고 이로써 야간 시간에 수관 상부 3분의 2 범위 내에 일어나는 냉각현상을 실제 측정결과와 근접하게 시뮬레이션 할 수 있다.

또한 도시구조에 따른 건물높이, 포장률, 건폐율과 인체복사열 등을 감안하여 유량

의 흐름이 평균이하일 때 도시 특유의 열섬현상의 발생과정을 시뮬레이션 할 수 있다.

파라미터를 포함한 전체 방정식은 각 공간별로 좌표 시스템으로 풀어낸다. 이를 통해 특히 지표면의 여러 기상현상을 정의하는 것이 가능하다. 지표면 온도의 계산은 에너지흐름의 가감계산을 통해 산출되며 이때 상시적 혹은 일시적 유량, 토양의 열역학, 단파 장파 복사열 및 인위적인 열 흐름을 감안한다.

이때 적용하는 미분방정식은 수치격자로 푼다. 각 격자의 공간적 규모  $\Delta x$  는 50 m x 50 m이다. 수직적 격자크기는 등거리로 변하는 것이 아니며 지표면에서 가까운 곳에는 매우 조밀한데 이는 다양한 기상요소를 사실에 근접하게 파악하기 위함이며 각 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70미터로 진행된다. 상부로 갈수록  $\Delta x$ 가 커지며 최상 경계는 지상 3000미터이다. 이 고도에서는 지상의 지형과 토지이용으로 인한 인위적 영향이 더 이상 미치지 않는 것으로 가정한다. (그림 20 참조)

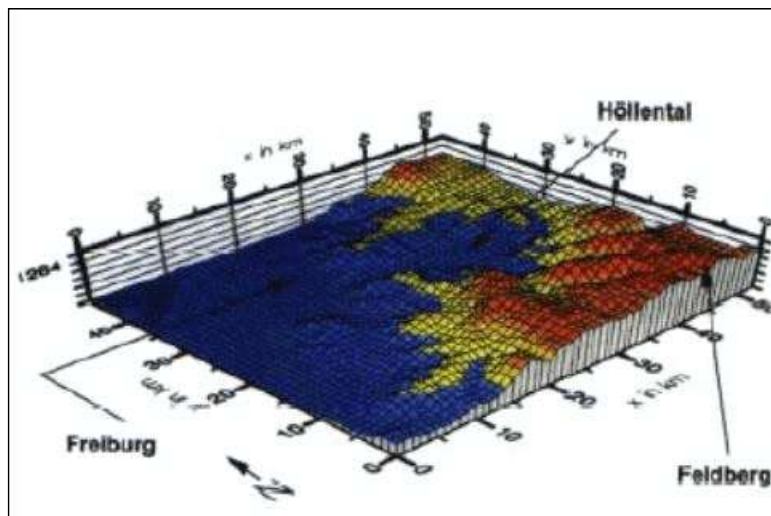


그림 20 모델 사례. 자연경관의 일부를 재현하고 있다. (출처: Richter & Röckle 연도 미상)

#### 4.6. 모델계산을 위한 종관기상 조건들

고기압이 지배하는 동안에는 지구별 기후의 특성이 잘 드러난다. 수치적 모델계산을 위해 대규모 공간의 종관기상조건들은 아래와 같이 지정했다.

- ▶ 구름 비율 0/8
- ▶ 지구자전에 의한 풍속 (지균풍속) 0 m/s

▶ 대기 상대습도 50%

#### 4.7. 모델해석을 위한 조언

수평 격자 50미터로 인해 개별적 건축물들은 각각 별도로 고찰되지 못한다. 그 보다는 모델의  $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$  축 격자의 범위 내에서 가장 대표적인 수치, 즉 실제 토지이용유형의 평균치를 산출하여 적용하였다.

풍속 U의 사례를 통해 이점을 살피고자 한다. 예를 들어 한 격자 내의 40%가 건물로 채워지고 ( $U_{house} = 0$  m/s) 60%가 아무 장애 없는 공간으로 풍속  $U_{free} = 1$  m/s 가 지배한다고 가정할 때, 이 격자 내의 대표적 풍속은 0.6 m/s이다.

기온 계산도 유사한 방법으로 이루어진다. 예를 들어 50미터x 50미터의 격자에 아래와 같은 공간이용유형이 존재하고 각 유형별로 아래 표와 같이 각각 다른 기온이 측정되었을 때 해당 면적 전체의 대표값  $T_{model} = 15.9$  °C이다.

수면	면적비율 20%	Twater	= 18 °C
오픈 스페이스	면적비율 40%	Tfree	= 14 °C
도시 (건물 등)	면적비율 30%	Tcity	= 17 °C
숲	면적비율 10%	Twood	= 16 °C

표 4. 공간이용유형 별 면적비율과 기온 편차 사례

#### 4.8. FITNAH 모델 결과 검증

##### 4.8.1. 사례 : 글라이스드라이엑 Gleisdreieck

결과를 검증하기 위해 글라이스드라이엑 Gleisdreieck 부지 (원래는 휴면철도부지, 2011/2014 이후 공원)의 분석사례를 살펴보고자 한다.<sup>3)</sup>

2001년에 글라이스드라이엑 부지의 기후조사가 실시되었다. 당시에 글라이스드라이엑은 나대지형 오픈스페이스였다. 이런 유형의 녹지가 도시기후에 미치는 영향을

3) Vogt, J. (2002): Bericht über orientierende Untersuchungen zur lokalklimatischen Funktion der Flächen des Gleisdreieckes in Berlin, Textteil, Voruntersuchung im Auftrag der Vivico Management GmbH, unveröffentlicht, Berlin.

[칼스루에 대학의 요하킴 포크트 교수가 2002년도 Vivico Management GmbH 개발사의 위탁을 받아 글라이스드라이엑이 도시기후에 미치는 영향을 조사하여 보고서를 제출했으나 내부분서로 취급되어 출판되지 않았다. 당시에 글라이스드라이엑을 개발하고자 하는 사업자들과 이를 녹지로 이용코자 하는 시민들 사이의 갈등이 최고조에 달했으므로 전문가 감정서의 개념으로 조사한 것으로 그 내용이 베를린 환경정보지도에 수렴되었다.]

조사하기 위해 아래와 같은 측정 결과를 종합하여 분석했다.

- ▶ 2001년 하절기 (4~9월) 6개월 동안 4회에 걸쳐 유량과 기온 변화를 측정
- ▶ 2001/2002 동절기 (10월~3월)에 4회에 걸쳐 이동식기후측정.

당시의 기상조건은 이상기온 현상이 나타나지 않은 고유의 조건을 보였다.

우선 아래와 같은 가설을 세우고 측정 시에 검토기준으로 삼았다:

1. 글라이스드라이엑에는 고유의 흐름이 존재하며 이는 비교적 평탄한 선로 (공기의 흐름을 유도하는 통로 역할)를 따라 시내로 연결된다.
2. 자연발생녹지가 지배적인 글라이스드라이엑은 바로 인접한 도시구간에 찬공기를 제공한다.
3. 남쪽의 크로이츠베르크 빅토리아 파크에서 찬공기가 내려와 글라이스드라이엑을 지나간다. [아래 지도 참조: 빅토리아 파크는 해발 약 66미터의 자연 언덕 크로이츠베르크에 조성된 공원.]

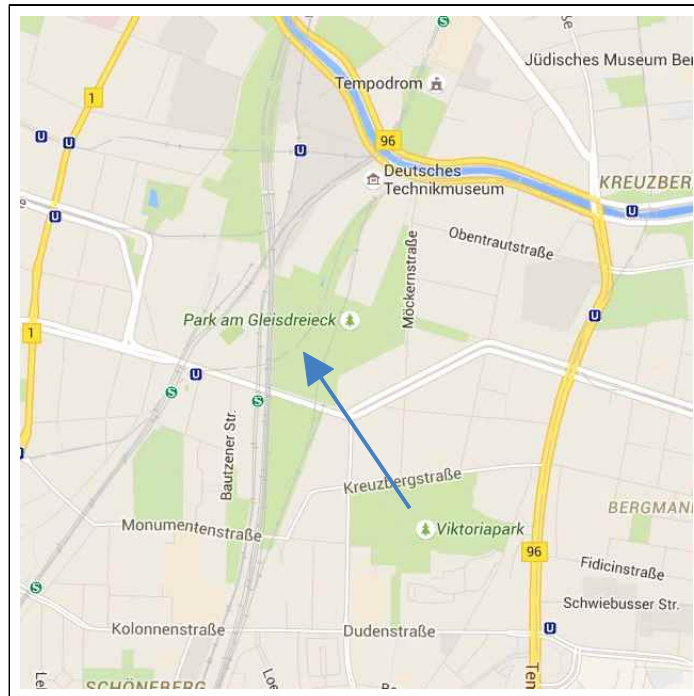


그림 21 글라이스드라이엑 Gleisdreieck, 빅토리아 파크 Viktoriapark의 위치와 가정된 찬 공기 흐름 [고정희]

위의 가설은 서로 다른 구조를 가진 도시구간에 서로 다른 고유 기후조건이 지배할 것이라는 가정에 부합되는 것이며 FITNAH 시뮬레이션을 통해 입증되어야 했다. 따라서 유량필드의 측정데이터를 적용하여 타당성을 분석했다.



물론 이런 비교기법의 아래와 같은 제한성을 배제할 수 없다:

- ▶ 기상조건이 언제나 고유의 현황을 보이지는 않았다.
- ▶ 이동식 측정법과 측정소는 공간적, 시간적으로 표본적 성격이 강하다.
- ▶ 동절기 이동측정은 영하의 추위 속에서 진행되었다.
- ▶ 측정소가 모두 37개소였으며 각 측정지점에서 약 4분 씩 연속으로 측정했으므로 비교적 단기측정이라고 볼 수 있다. 총 측정시간은 약 4-5시간에 불과했다. 그러므로 유량필드의 전형적 성격을 대변한다고 볼 수 없다.
- ▶ 모델시뮬레이션에서는 고유의 기후조건을 입력하고 이상적인 기상조건을 전제로 했다. 즉 상층유속 (the top current) 0 m/s를 전제했다.

#### 4.8.2. 가설 검토

우선 이른 야간시간에 지상 2.5미터에서 측정한 결과만을 놓고 본다면 상호 비교 정확도가 높아진다.

- ▶ **가설 1: 글라이스드라이엑에 고유의 흐름이 존재하며 이는 비교적 평탄한 선로 (공기의 흐름을 유도하는 통로 역할)를 따라 시내로 연결된다.**

결과: 실제 측정결과와 시뮬레이션 둘 다 “바람이 선로를 통로로 이용”할 것이라는 가설을 입증하지 못했다.

또한 대규모의 공기 교환이 이루어진다는 증거도 나타나지 않았다. 22.00 시 유량 필드 시뮬레이션 결과에 의하면 마치 모자이크 조각과 같은 미기후적 부분 교환이 이루어지고 있음이 드러났다. 이런 모자이크 조각 공간들의 규모는 대개 500미터에서 1200 미터 사이였다. [아래 그림 22 참조]

- ▶ **가설 2: 자연발생녹지가 지배적인 글라이스드라이엑은 바로 인접한 도시구간에 찬공기를 제공한다.**

측정결과 위의 가설을 뒷받침할 만한 충분한 조절유량이 입증되지 않았다. [Vogt 2002a, p. 15]. 물론 측정 당시의 기상조건이 항상 이상적이지 않았으므로 포괄적인 공기의 흐름을 판단할 수 있는 근거가 부족했다.

그 반대로 FITNAH를 이용한 시뮬레이션 결과 열 현상에 의거한 공기의 흐름이

확실히 존재한다는 사실이 입증되었다.

측정된 유속과 계산된 유속은 서로 매우 근접했다. 보통 이런 식의 열 현상에 의거한 공기의 흐름은 풍속 0.1~0.5 m/s에 준한다. 실제 측정결과 동절기, 하절기 관계없이 모두 이 속도에 도달하고 있음이 밝혀졌다. [Vogt 2002a, pp. 19-22]. 또한 부지 서쪽 경계를 이루는 뉘른 가 Möckernstraße 쪽으로 찬바람이 유입됨이 밝혀졌으나 그 범위가 150미터를 넘지 못하므로 그 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단된다. [그림 22 참조]

▶ **가설 3: 남쪽의 크로이츠베르크에 있는 빅토리아 파크에서 찬 공기가 내려와 글라이스드라이역을 지나간다.**

FITNAH 시뮬레이션 결과와 측정결과가 일치하여 실제로 빅토리아 파크에서 찬공기가 내려와 통과한다는 사실이 입증되었다. 특히 두 공원을 연결하는 크로이츠베르크가와 그로스베렌가를 지나감이 밝혀졌다. 유속은 비교적 낮은 0.2-0.7 m/s로 측정 혹은 산출되었다.



그림 22 왼쪽 도면은 글라이스드라이역의 측정결과를 나타내며 오른쪽 그림은 이에 근거하여 산출한 FITNAH 시뮬레이션 결과를 부분적으로 확대한 것이다. 왼쪽의 각 측정지점의 하늘 색 선은 바람이 불어오는 방향을 나타낸다. 오른쪽 시뮬레이션의 화살표는 공기 흐름의 방향을 나타낸다.

#### 4.8.3. 결론

종합적으로 지구적 기후모델의 계산결과와 실제 측정결과가 거의 일치하고 있다.

시뮬레이션을 통해 산출해 낸 해당 지구의 공기 흐름은 실제 측정으로 거의 입증되었다. 공기흐름의 방향과 속도는 같은 범위 내에 들어있었으며 상대적 공기교환, 즉 지형적 차이로 인한 찬공기의 흐름과 (빅토리아 파크) 미기후의 열역학적 “조절 유량”, 즉 녹지와 인접 도시구간 사이의 공기교환량을 정량적 정성적으로 파악하여 기록할 수 있었다. [Vogt 2002a, p. 26이하]. 그에 반해 베를린 도심과 외곽녹지와외 공기교환은 예상과 달리 입증되지 않았다.

## 4.9. 지도 설명

### 4.9.1. 지표면 온도 - 개요

지표면온도는 지상 0-5미터 내 대기의 평균 기온을 말한다. 한 격자 내에 여러 토지이용유형이 존재하는 경우 각 토지이용 별 가중지수를 감안하여 계산했다. 이로써 모델로 산출한 기온은 균일한 토지이용이 지배하는 공간이나 대규모 공간에서만 유효하다고 볼 수 있다.

기온 분포의 중요한 조건은 토지이용에 따른 토양 형태이며 토양과 대기와의 상호작용이다. 이때 토양의 열 및 온도전도율이 큰 역할을 차지한다.

자연적이거나 혹은 인위적인 토양표면은 토양의 알베도와 에너지 복사량이다. 에너지 복사량은 장파와 단파에너지 범위에 있으며 가열 혹은 냉각 작용의 원인이 된다. 마지막으로 지표면 대기 내에서의 난기류가 큰 역할을 한다. 난기류는 토양표면의 열에너지를 이동시키는 역할을 한다. 위의 모든 현상들은 토양의 에너지 밸런스에 의해 서로 연동되어 있으며 지표면과 대기의 기온을 결정한다.

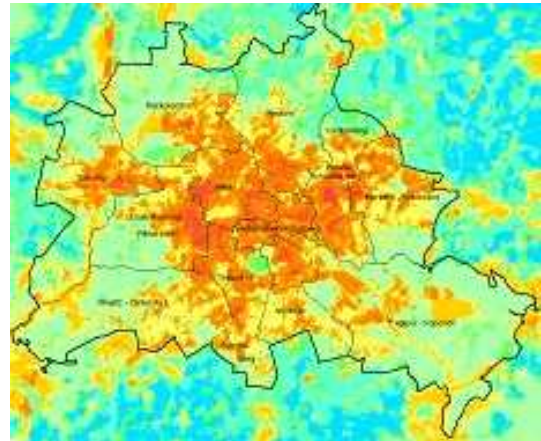


그림 23. 04.10.01: 밤 22시의 지표면 (0-5미터) 기온 분포

### 4.9.2. 공간별 지표면 가까이의 기온 편차

베를린 전 도시구간의 밤 22시의 지표면 (0-5미터) 기온분포 상황은 지도 04.10.01 에 표시되어 있다. 이 시간에 각 토지이용으로 인한 서로 다른 기온변화의 성격이 가장 뚜렷하게 드러난다.

오픈스페이스에서는 주간에 과열되고 일몰이후 급격히 냉각된다. 특히 도시외곽지역의 비건축지, 혹은 식생이 지배하는 전원지역에서 나타나는 현상으로서 열이 장애 없이 복사될 수 있기 때문이다.

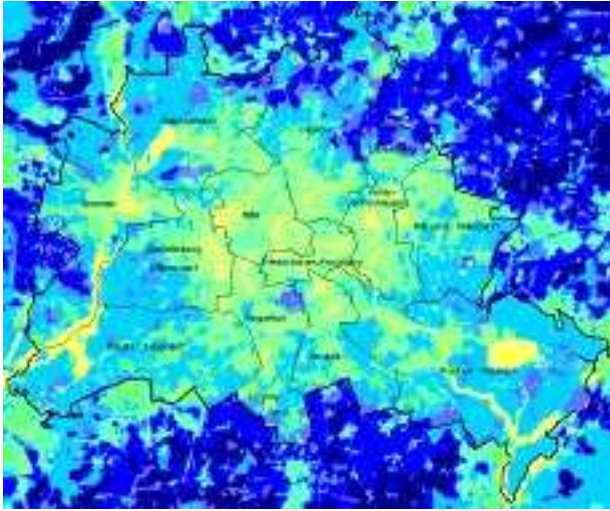


그림 24. 04.10.02: 새벽 6시 기온분포

삼림에서는 이 시간대에 주변의 농경지에 비해 약 1 K 이상 기온이 높으나 도시구역에 비해서는 현저히 낮다.

도시구역은 일반적으로 다른 구역에 비해 기온이 높지만 도시 구간별 편차가 심하다. 단독주택, 도심구간, 산업지역, 교통지역에 따라 토양 및 지표면의 상태가 많이 다르기 때문이다.

평균 기온은 도심의 티어가르텐 (베를린의 중앙공원)과 템펠호퍼 자유공원에서 현저하게 달라진다.

이렇게 토양과 지표면의 편차에 따라 밤사이 냉각 행태가 도시구간별로 크게 다르며 그 관계는 **아침 6.00 기온분포도**에 나타나 있다. (도면 번호: 04.10.02.)

수면<sup>4)</sup>은 열전도율이 낮기 때문에 밤사이 천천히 냉각되며 그 반면에 **농경지와 초지**는 급격하게 냉각된다. 열전도율 외에도 건조한 공기는 냉각현상을 가속시킨다. 삼림구역은 수관이 지표면 대기층을 보호하여 급한 냉각현상을 방지한다. 따라서 삼림지구는 비교적 온화한 기온대로 표시되어 있다.

도시 구역 내에서는 콘크리트나 석재 등 열을 저장하는 소재로 인해 냉각속도가 낮다. 낮 시간 동안 흡수하여 저장된 열로 인해 기온이 급히 떨어지는 것을 방지한다. 또한 난기류나 잠열의 흐름이 감소되어 더운 공기 이동이 불가능해진다. 이로써 도시구역은 일반적으로 온도가 높다. 저녁시간에 도시와 외곽의 오픈스페이스와의 기온 차이는 2 K 정도이며 이른 새벽에 6 K 까지 상승한다. 도심 내에서의 건축지와 녹지 사이의 기온차이는 이보다 적은 편이지만 그럼에도 그 차이가 확실히 인지된다.

#### 4.9.3. 공기교환과 유량은 기후 조절의 기준이 된다.

4) 베를린은 도시 전 면적의 40%가 녹지이며 이 녹지의 3분의 1은 수면이 차지하고 있다.

주거단지의 통풍 효과가 좋으면 인간생체기상학적으로 유리한 조건을 형성할 수 있다. (Moriske & Turowski 2002). 야간에 외곽 전원지대에서 불어오는 시원한 바람은 도시에 머물고 있는 과열된 공기를 식힐 수 있으며 이는 또한 하절기에 시민들을 폭염 스트레스로부터 보호할 수 있다. 이때 불어오는 바람이 오염되지 않은 공기라면 도시공기위생 상태를 개선하는 데에도 기여할 수 있다.

통풍상태를 판단하기 위해 **스트레스 (부담)구역**과 **조절(보상)구역**을 서로 구분하는 것이 필요하다. 여기서 조절구역이란 청정한 공기를 보유하고 그에 합당한 순환시스템이 제대로 기능하여 공기를 이동시킬 수 있어야 한다.

**기후생태적인 조절효과**는 사실상 도시 구간에 분포된 비건축지들이 담당한다. 이 공간들은 높은 식생비율을 보이며 토양포장율이 20% 이하로서 밀집된 핵심구역에서도 미기후 조절 기능을 할 수 있다. (도면 04.10.03 ~ 04.10.06)

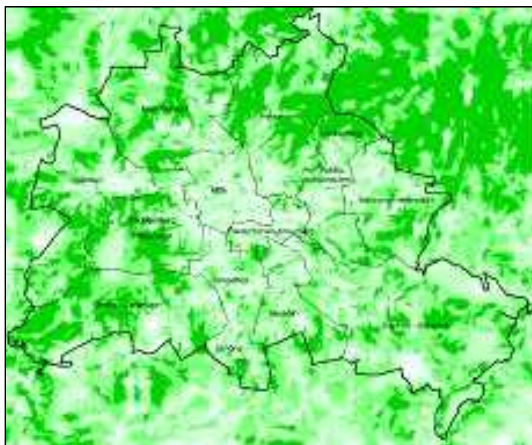


그림 25. 04.10.05: 22 시 찬공기 흐름

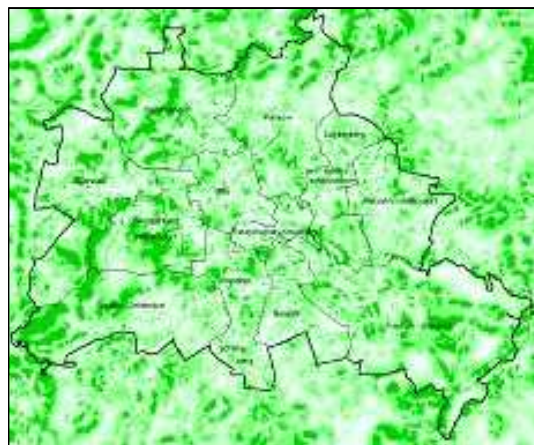


그림 26. 04.10.06: 06 시 찬공기 흐름

조절효과는 열역학적인 혹은 지형에 의거한 공기의 흐름에 따라 이루어진다. 인근 도시구역에 신선한 공기를 제공하는 오픈스페이스들과 이들의 공기교환 행태를 서로 분류하기 위해 일정한 기준을 적용했다. 기후생태학적으로 중요한 오픈스페이스는 바람이 없는 여름 복시기 야간 시간에 최소 조절 기능 (공기흐름) 약 0.2 m/s 이상을 보여야 한다. 이때 지형 경사가 1° 이상 이면 산바람과 골바람으로 나눌 수 있다. 평지에서는 열역학적인 공기의 흐름이 나타난다.5) [아래 그림 27 참조]

5) 베를린은 전 도시구간이 평지로 이루어져 있다. (해발 34~122) 악마의 산이라고 불리는 가장 높은 산, 해발 122미터 (!)는 자연적으로 형성된 것이 아니라 인공 언덕이다. 자연적으로 가장 높은 곳은 해발 115 미터이다. (뮌켈산) 그러므로 산바람, 골바람을 말하기가 어렵다.

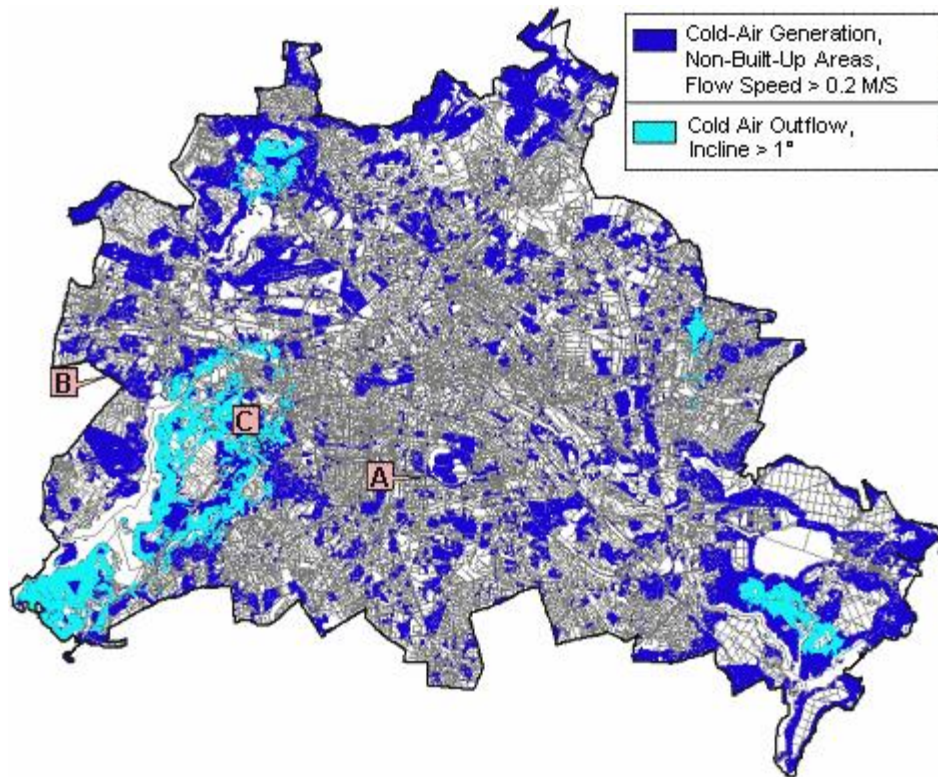


그림 27 찬공기 생성 내지는 이동구간에는 녹지와 녹지율이 높은 주거지역이 속한다. 공기교환이 적은 여름 밤 22시에 측정. 격자 50미터. 진한 파란색은 찬공기 생성지역 중 비건축지로서 유속 0.2 m/s 이상인 구역. 물색으로 표시된 구간은 경사도 1° 이상으로서 찬 공기를 내보내는 구간을 말한다.

네모 속의 문자 A, B, C는 뒤에서 사례로 살펴 볼 3개소의 녹지의 위치이다.

[출처: 베를린 · 도시 환경국:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da410\\_04\\_zusatz.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da410_04_zusatz.htm)]

기후조절을 위해 특별히 중요한 공간은 넓은 시민숲과 공원들이다. 이들은 베를린 외곽에 넓은 면적으로 분포되어 있다. 야간 시간의 높은 냉각비율로 인해 중요한 찬공기 생성지이다. 표1에는 바람과 및 찬공기 흐름의 역할을 하는 도시구역 비율을 퍼센트로 나타냈다.

표 1: 고유의 공기흐름체계를 보유하고 있는 면적 비율		
유형	22 시 (%)	06 시 (%)
열역학적인 흐름	24.2	37.2
지형에 의거한 흐름	4.7	5.0

표 5 : 공간 고유의 흐름을 보이는 면적 비율. (전 도시면적 대비). 열역학적 흐름과 지형에 기인한 흐름을 구분했다.

결론적으로 보자면, 두 가지 유형의 흐름을 모두 합하여 복사가 시작되는 밤 시간에 도시 전 면적의 약 30%정도가 조절유량을 생성한다. 이 비율은 시간에 따라 변하여 22시에는 약 28.9%, 새벽 6시에는 약 42.2%가 된다. 새벽 6시의 높은 증가는 도시 북부 전원지대와 서부의 그루네발트 시민 숲, 동부 뮌헨호수 주변의 전원지대에서 찬공기가 생성되기 때문이다.

새벽에 비록 찬공기 생성 면적비율이 증가하기는 하나 통풍지수는 오히려 낮아진다. 통풍기능은 22시에 최고조에 달한다.

오픈스페이스의 조절기능은 도시 전역에 분포되어 도달한다. 이를 요약하면 아래와 같다:

- ▶ 건축지의 약 37%가 22시에 자체 유속 약 0.2 m/s 이상을 보이거나 아니면 상당하는 혜택을 받는다.
- ▶ 밤사이 외곽에서 불어오는 찬공기의 증가로 인해 새벽 6시 경에는 건축지의 약 63%가 혜택을 받는다.
- ▶ 동시에 도시 내 녹지나 공원의 조절기능은 약화된다. 이는 야간 시간이 진척됨에 따라 외곽에 비해 냉각율이 상대적으로 낮아지기 때문이다.

녹지와 비녹지가 서로 밀접하게 연결되어 있는 까닭에 베를린은 전체적으로 기후생태적 조절기능이 매우 높다. 평지로 이루어진 지형적 특성으로 인해 지형에 의거한 통풍효과는 그리 크지 않다. 이들은 외곽 전원지대에 인접한 구간에 한해서 나타난다.

바람 **통로**의 역할을 하는 것은 선형으로 이루어진 대형 오픈스페이스들이다. 베를린 전역에 이런 구간 크게 세 군데 존재한다. 이는 독일기상청에서 작성한 베를린 생체기후 감정서의 결과와도 일치한다. (3 개소 모두 도시외곽의 호수녹지지역)

- ▶ 서쪽의 하펠강 지역의 피헬스 호수에서 북부 도시구간으로 불어가는 약 3킬로미터 구간
- ▶ 동쪽의 뮌헨스부르거 호수에서 동쪽으로 향하는 통로
- ▶ 동남쪽 다메천 유역

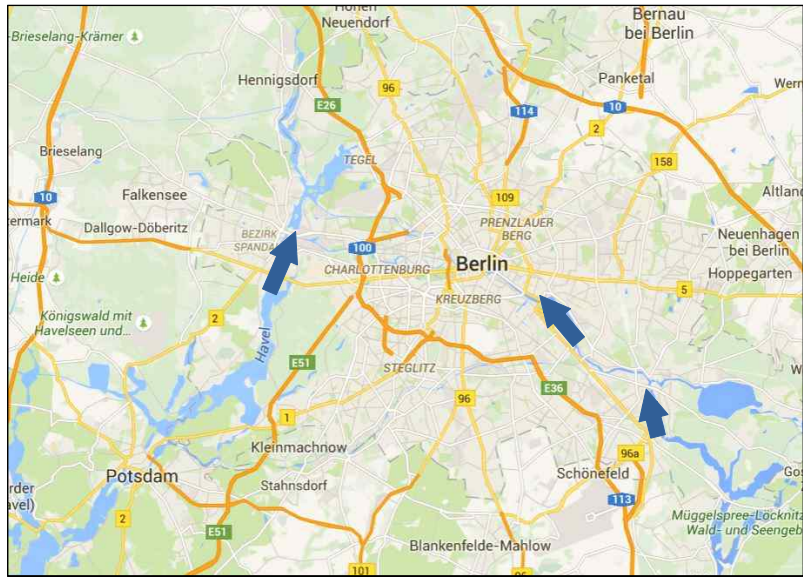


그림 28. 베를린에서 확인 된 바람통로 3 개소

베를린의 지형적인 특성으로 인해 지형에 의거한 바람통로는 거의 없다고 볼 수 있다. 또한 하천 주변의 저지대를 따라 외곽의 찬공기가 베를린 도심으로 불어온다는 증거 역시 찾지 못했다. 그 보다는 도시 내의 하천 호소 구간에서 바람통로가 나타난다.

#### 4.10. 찬 공기를 생성하는 도시녹지와 이들이 미치는 영향

##### 4.10.1. 사례 : 템펠호프 자유공원 (구 비행장, 현 공원)

도시 내의 찬공기교환 행태를 분석하기 위해 템펠호프 자유공원의 남동부의 사례를 들어 설명하고자 한다. 아래 도면에서 노란 색으로 표시된 구간은 기후측정을 위해 선발된 500 미터 구간이다. (템펠호퍼담 거리 Tempelhofer Damm) 템펠호퍼 자유공원은 위치와 규모로 보아 높은 대표성을 보이며 인근 도시의 여름 과열현상을 조절하는데 중요한 역할을 하는 곳이다.

공원의 남쪽에서 서쪽으로 지나가는 도로 (Tempelhofer Damm + 도시고속도로 A 100)과 공원 내 북서쪽 (짙은 녹색) 두 곳에 격자 당 30을 넘는 높은 통풍효과를 보이고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 높은 통풍량을 보이고 있지만 구 공항 건물로 인해 공기의 흐름이 방해받고 있음을 알 수 있다. 그 반면에 남서쪽의 도로는 별 어려움 없이 약 700미터 가량 공기를 통과시켰다. 이와 동시에 동쪽에 위치한 쉐네베르거 자유공원과 그 옆의 주말정원구역에서 동쪽으로 맞바람이 불어 중간지점 (알보인 가Alboin Str.) 지점까지 전해져 왔다. [그림 29 참조]



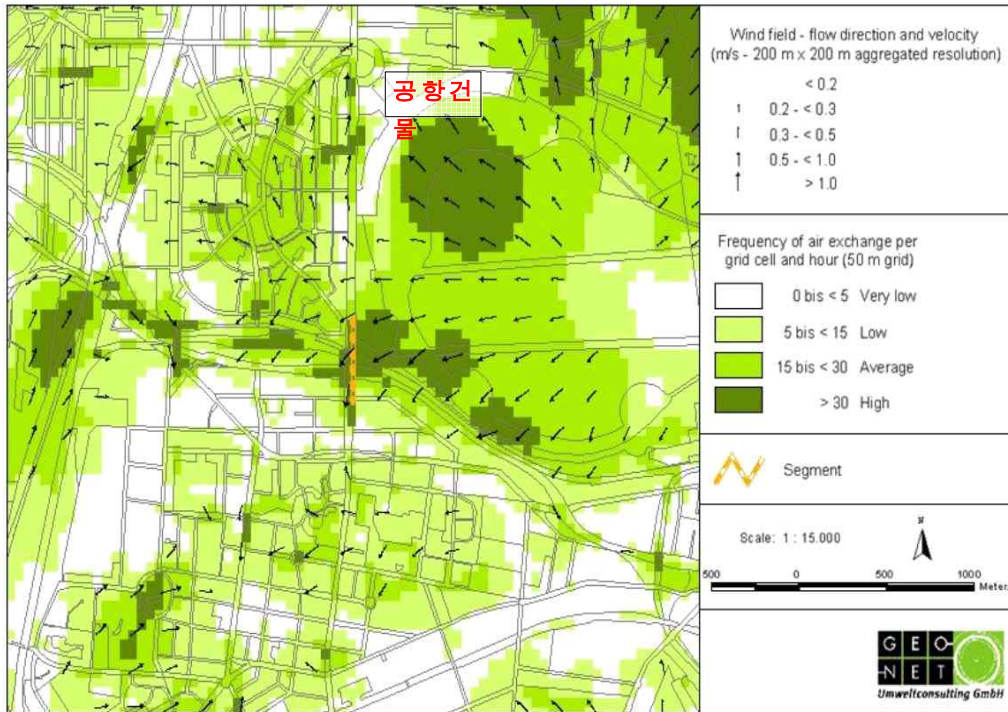


그림 29 템펠호프 자유공원의 격자 당 발생하는 공기교환 및 자체 발생 공기흐름. 교환이 미미한 여름 야간 복사 시간. 22시. 격자 크기 50 미터.



그림 30 템펠호프 자유공원과 쉐네베르거 자연공원 및 인근 주말정원단지 위치

새벽 6시 경에는 주말정원단지에서 불어오는 바람이 거의 멈추었으나 공항공원에서 서쪽으로 향하는 바람은 오히려 800미터로 확장되었고 남쪽으로도 400미터 정도 진행했다.

도로를 따라 진행되는 야간 유량은 시간이 진행됨에 따라 근소하게 감소했다. 이는 인근 도시구간의 건물이 밤사이 식어 양구간 사이의 온도차가 적어진 데에 기인한다.

#### 4.10.2. 결론:

템펠호프 자유공원 외에 조건이 서로 다른 두 개소를 별도로 분석한 결과 (슈판다우 도시외곽지구 및 도시외곽에서 시내로 들어오는 전환지점, 즉 그루네발트) 아래와 같은 결론이 내려졌다:

템펠호프 공원 등의 도심 녹지는 이른 야간시간의 통풍량이 가장 많으며 점차 감소된다. 외곽지대는 이와 반대여서 후반부에 오히려 가장 컸다. 이는 밤 시간동안 녹지에 서서히 찬바람 볼륨이 커지기 때문이다. 전환지점을 이루는 그루네발트는 도시와 외곽의 성격을 모두 가지고 있다. 그러므로 도시녹지의 기후조절 기능을 판단할 때 각 녹지의 도시구조적 특성과 위치를 항상 감안해야 한다.

#### 4.11. 참고문헌:

기후지도 제작을 위해 참고한 문헌은 아래와 같다.

[주:

- ▶ 저자가 단체나 기관인 경우, 저자명 번역, 인명일 경우 번역하지 않았으며 제목만 간략히 번역, 영어 문헌은 번역하지 않음.
- ▶ 인터넷 주소에는 검색한 날짜가 명시되어 있음. “Zugriff am 11.05.2009”]

[1] Deutscher Wetterdienst DWD 1996: Klimakarten für das Land Berlin, Teil 1: Bioklima Berlin, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, unveröffentlicht.

독일기상청 1996: 베를린 기후지도 1 부: 생체기후. 베를린 주 도시 환경보호국 위탁.

[2] Groß, G. 1989: Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies, in: Beitr. Phys. Atmosph.,H 62, S. 57-72.

[3] Groß, G. 1993: Numerical simulation of canopy flows, Springer Verlag Berlin.

- [4] Groß, G. 2002: The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model, in: Meteor.Z.schr. Vol. 11 Nr.5, S.701-710.
- [5] Mosimann, T. et al. 1999: Karten der klima- und immissionsökologischen Funktionen - Instrumente zur prozessorientierten Betrachtung von Klima und Luft in der Umweltplanung, in: Naturschutz und Landschaftsplanung 31,(4),S. 101-108, Stuttgart.  
기후 및 공해기능 지도 - 환경계획에서 기후와 대기의 변화상을 판단하기 위한 도구.
- [6] Moriske & Turowski 2002: Handbuch für Bioklima und Lufthygiene, 8. Ergänzungslieferung, Ecomed-Verlag, Landsberg.  
생체기후와 대기위생 지침서
- [7] Richter & Röckle (IMA Immissionen, Meteorologie Akustik) o.J.: Das numerische Simulationsmodell FITNAH, digitale PDF-Datei, Freiburg.  
수치시뮬레이션 모델 FITNHA (PDF 자료. 8 쪽)  
Internet:  
[http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/dokumente/klima\\_downloads/fitnah\\_kurzuebersicht.pdf](http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/dokumente/klima_downloads/fitnah_kurzuebersicht.pdf) (Zugriff am 11.05.2009)
- [8] Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (SenGesUmV) 2008: Emissionskataster Kraftfahrzeug-Verkehr 2005, unveröffentlicht.  
베를린 건강 환경 소비자보호국 [행정구조개편 이전의 명칭] 2005. 자동차 교통으로 인한 방출량지도, 미발표.
- [9] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1997: Richtlinie VDI 3787, Blatt1, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, Düsseldorf.  
독일기술연맹<sup>6)</sup> 1997. 지침 3787, 1 호. 도시와 지역을 위한 기후 및 대기위생지도  
Internet:<http://www.vdi.de/>(Zugriff am11.05.2009)
- [10] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 2008: Richtlinie VDI 3785, Blatt1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf. Internet:<http://www.vdi.de/>(Zugriff am 11.05.2009)  
독일기술연맹 2008. 지침 3785, 1 호. 계획을 위해 의미있는 도시기후 조사 및 결과 서술 기법.
- [11] Vogt, J. 2002a: Bericht über orientierende Untersuchungen zur lokalklimatischen Funktion der Flächen des Gleisdreieckes in Berlin, Textteil, Voruntersuchung im Auftrag der Vivico Management GmbH, unveröffentlicht, Berlin.  
글라이스드라이에이 도시기후에 미치는 영향. Vivico Management GmbH 개발사의

---

6) 독일기술연맹 VDI에서는 각종 환경기술지침과 기준을 개발하고 있다. 이들은 사실상 법정 기준에 준하는 것으로 간주된다.

위탁 보고서. 미발표.

- [12] Vogt, J. 2002b: Bericht über orientierende Untersuchungen zur lokalklimatischen Funktion der Flächen des Gleisdreieckes in Berlin, Abbildungsteil, Voruntersuchung im Auftrag der Vivico Management GmbH, unveröffentlicht, Berlin.  
위와 같음. 지도집.

■ 디지털 지도: [아래 지도는 PDF 파일로 별도 첨부]

- [13] 04.09 생체기후 지도 (2005) 1:75000,  
[14] 04.02 1961-1990 평균기온 장기관찰 (2001), 1:50 000,  
[15] 04.04 지구복사현상이 보통인 야간 시간의 기온과 습도 (2001) 1:125 000,  
[16] 04.05 도시기후 존, 1:50 000,  
[17] 04.06 주 야간 지표면 온도 1: 85 000,  
[18] 04.07 기후기능 1:50 000,  
[19] 04.10 도시기후모델 - 분석도, 1:50 000,  
[20] 01.08 지형고도, 1:50 000  
[22] 04.11 도시 기후모델 Klimamodell Berlin - 평가도, 1:50 000  
[23] 01.02 포장율, 1:50 000,  
[23] 06.01 건축용지의 실제 이용현황도 1:50 000  
06.02 녹지 및 오픈스페이스 현황도 1:50 000,  
[24] 06.07 도시구조도, 1:50 000

2015.08.24.

고정희

**THIRDSPACE BERLIN**  
environment & landscape culture