

# 슈트트가르트의 도시 미기상을 고려한 도시계획

슈트트가르트시청 환경보전과 도시기후 연구부 이현정

슈트트가르트(Stuttgart) 환경보전과 도시 기후 연구부는 슈트트가르트 내 도시 대기질을 개선하고 도시민에게 쾌적한 환경을 제공하고자 1938년 시의회의 요청으로 설립되었습니다. 도시 기후 연구부는 2017년 현재까지 79년간 슈트트가르트에 도시 공간 구조 및 도시계획에 따른 도시 기후 및 미기상의 열적, 대기질적 연구 조사와 평가를 수행해오고 있습니다 (Abteilung Stadtklimatologie, 2017).

기후는 일반적으로 특정지역에서 30년 이상의 평균적인 대기학적 기상상태를 의미하며 도시 기후학은 도시 생활 공간 내의 기후학적, 대기위생학적인 특성을 연구하는 학문 분야입니다 (Kuttler, 2010; Reuter and Kapp, 2015).

도시 환경은 고밀도의 건물이 분포되어 있으며 대부분의 지표가 아스팔트 및 콘크리트로 포장되어 있고 녹지가 충분하지 않으며 자동차 등의 교통 이동 수단이 밀집되어 있는 특성을 보입니다. 이로 인해 입자 및 가스성 대기오염 물질이 다량으로 발생하는 동시에 도시 공간 구조로 인해 복사 및 열 플럭스 밀도가 변화하게 됩니다 (Kuttler, 2010).

슈트트가르트시는 독일 남서부 Baden-Württemberg 주를 대표하는 독일 내에서 6번째로 큰 규모의 도시로 2015년 기준 총 61만의 도시민이 거주하고 있습니다. 도시 면적은 총 207km<sup>2</sup>로 이중 49%가 주거지역이며 순수한 도시지역의 인구밀도는 5410명/km<sup>2</sup>입니다 (Rinke et al., 2016). 슈트트가르트시는 분지형태의 복잡한 지형 구조를 가진 독일의 대표적인 녹색도시 중 하나로 토지의 39%를 그린벨트로 지정하여 개발을 제한하고 있으나 산업 및 상업지역 역시 토지의 많은 부분을 차지하고 있습니다 (그림 1).

이러한 도시의 위치, 지형, 토지 이용 및 건물의 분포 등이 함께 어우러져 슈트트가르트의 특정 도시 미기후를 형성합니다 (Reuter et al., 2010).

슈트트가르트는 전반적으로 풍속이 낮으며 이로 인해 원활한 대기 교환에 어려움을 겪고 있지만 도시 중심을 둘러싼 주변 고지대에서 생성된 야간의 차고 신선한 공기가 도시 일부 지역으로 유입되어 취약한 열환경 분포와 대기오염을 완화시켜주는 역할을 합니다. 따라서 슈트트가르트처럼 분지형태의 지형을 보이는 도시들은 바람이 도시 중심으로 원활하게 유입될 수 있도록 이를 반영한 도시 계획이 매우 중요합니다.

이와 더불어 현재 기후변화로 인해 점차 더워지고 있는 여름철 도시를 고려할 때 도시를 식혀줄 수 있도록 바람의 유입을 고려함과 동시에 도시 내로 유입되는 열을 저감하는 도시계획이 반드시 필요합니다.

슈트트가르트시는 도시 열과 바람을 고려한 친환경 도시계획을 수행하고 있는 세계적으로 대표적인 도시들 중 하나로 환경보전과 도시 기후연구부는 도시계획과 함께 수많은 프로젝트를 추진하고 있습니다 (Lee et al., 2016).

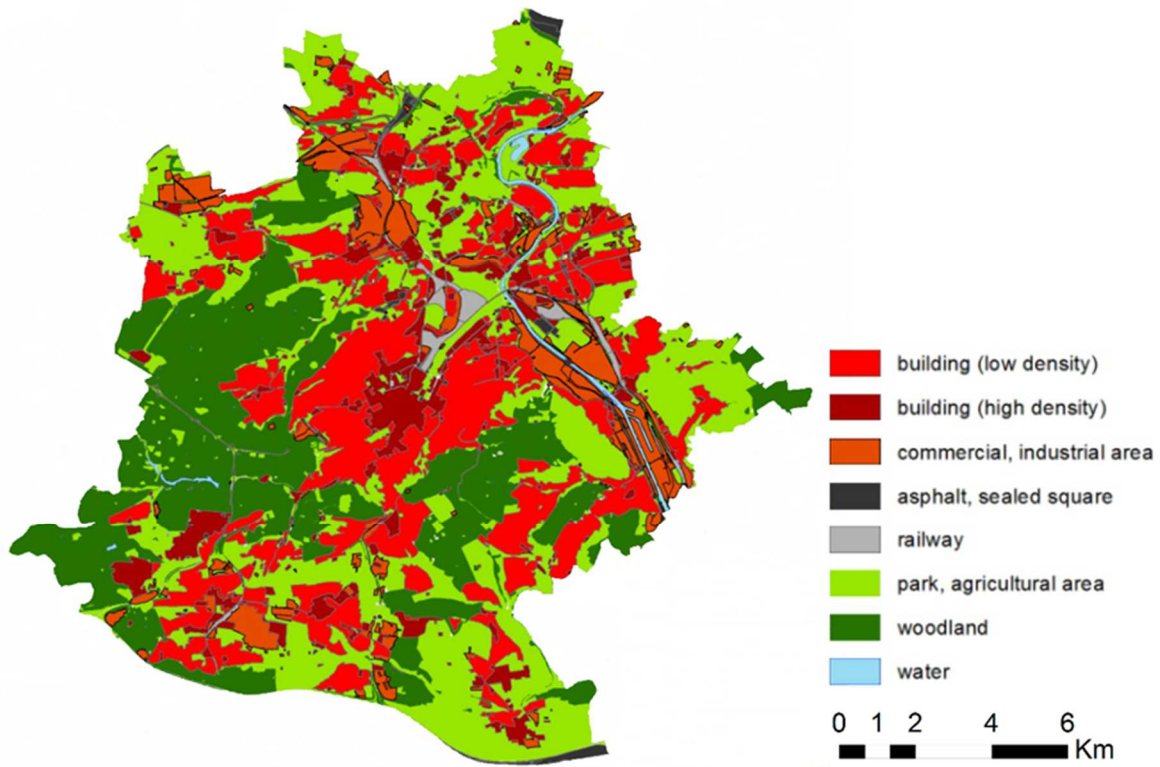


그림 1. 슈트트가르트 토지이용도 (Rinke et al., 2016)

쾌적하고 건강한 도시를 만들기 위한 노력으로 슈트트가르트 도시계획과는 환경보전과와 함께 GIS 를 베이스로 한 “지속가능한 건물 및 토지관리 (sustainable building land management; Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS))” 시스템을 운영하고 있습니다.

현재 본 시스템은 약 360 개의 지역에 적용되어 관리되고 있으며 주거 환경 개선을 위한 구체적인 도시계획 방안을 마련하기 위해 “Klimaplanungspass Stuttgart(KlippS)” 프로젝트를 통해 도시 열 취약성 평가 방법을 개발하였습니다 (그림 2).

KlippS 프로젝트를 통해 슈트트가르트시에서 개발한 도시 열 취약성 평가 및 대응 방안 마련 방안은 크게 두 부분으로 구분됩니다. 첫 번째로 도시 열에 관하여 해당 NBS 지역이 얼마나 중요한 역할을 하는지와 향후 대응방안이 필요한지에 관하여 평가할 수 있는 스크리닝 방식을 개발, 적용하는 것과 두 번째로 열적으로 취약한 NBS 지역에 대해 구체적인 도시계획 대응 방안을 마련하는 것입니다.

### (1) 도시지역 열 취약성 평가

KlippS 프로젝트를 통해 개발된 도시 열 취약성 평가 방법은 앞서 설명한 해당 NBS 지역의 도시 열적 중요성(human-biometeorological significance(HBS): human-biometeorologische Wertigkeit)과 대응방안 마련의 시급성(human-biometeorological need for action(HBNA): human-biometeorologischer Handlungsbedarf)에 대한 지수값을 이용합니다. HBS 와 HBNA 의 두 지수는 해당지역의 위치, 토지이용도, 건물의 밀집도, 주간 열 유입, 야간 더위, 열섬현상(Urban Heat

Island), 찬 공기 생성, 건물에 의한 찬 공기 유입의 방해, 주거환경 취약도에 관한 지표를 조합하여 도출하게 됩니다 (Mayer et al., 2015; Lee et al., 2016).

KlippS - Klimaplanungspass Stuttgart

---

Bürgerhospital
NBS Nr. 818

---

Stadtbezirk:	Nord	Adresse:	Türlenstraße
Grundstücksfläche:	ca. 3,93 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	LH Stuttgart	Flächennutzung:	Kliniknutzungen

---

**Thermischer Komfort (TK)**

**Bewertungsindikatoren:**

Lage / Umgebung: Hanglage / z.T. versiegelt;	Bebauungsdichte Umgebung: mittel	Vulnerabilität: gering bis mittel
Urbane Wärmeinsel: mittel;	Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering	

→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0.40 (mittel) von max. 1.0

→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0.694 (mittel) von max. 1.0

---

**Luftqualität (LQ)**

**Bewertungsindikatoren:**

Feinstaubkonzentration (PM <sub>10</sub> Jahresmittel):	19-22 µg/m <sup>3</sup>
Stickstoffdioxidkonzentration (NO <sub>2</sub> Jahresmittel):	28-32 µg/m <sup>3</sup>

→ Luftbelastungsindex: 0.65 (mittel) (1.0 bedeutet Grenzwert erreicht!)

---

**Vertiefende Untersuchungen:**

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: ([link - Medien/NBS](#)) weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: ([link - Medien/NBS](#)) mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

---

**Fazit / Planungshinweise:**

Bestehende Versiegelung und Bebauung verursachen eine mittlere thermische Belastung. Trotz sehr geringer Kaltluftproduktion in der Umgebung profitiert die Fläche von tw. vorhandenen Kaltluftabflüssen, die es zu unterstützen gilt. Es herrscht eine mittlere, entlang der Türlenstraße auch hohe Luftschadstoffbelastung. Die NO<sub>2</sub>-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter. TK: Nur mäßig dicht bebauen, Versiegelungsgrad nicht erhöhen im Vergleich zur Ist-Situation, es wird eine gut durchströmbare, weniger riegeelförmige Bebauungsstruktur empfohlen. Baumpflanzungen sowie Dach- und Fassadenbegrünung zur Reduzierung des Hitzeeintrags tagsüber empfohlen. Die Detailberechnungen zeigen das thermische Verbesserungspotential zur Begrünungsmaßnahmen auf und geben Hinweise auf sinnvolle Baumstandorte .

LQ: Entlang der Türlenstraße und an der Ecke Tunzdorfer Str. zur Heilbronner Str. hin abriegelnde Bauweise bzw. Abstand bzw. Aufenthaltsräume auf die straßenabgewandte Gebäudeseite zu legen, möglichst lokal emissionsfreie Wärmeversorgung.

---

<p><b>Ansprechpartner Stadtklima:</b></p> <p>Herr Kapp (0711) 216 – 88 685 rainer.kapp@stuttgart.de</p>	<p><b>Ansprechpartner Stadtplanung:</b></p> <p>Herr Schmid (0711) 216 – 20 056 matthias.schmid@stuttgart.de</p>
---	---

---

<p><b>Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung</b></p>	<p><b>Kaltluftverhalten Umgebung</b></p>
---	--

그림 2. KlippS 프로젝트를 통해 개발된 Stuttgart의 지속가능한 건물 및 토지관리 방안 예시 (Mayer et al., 2015)



슈트트가르트시에서 개발하여 운영하고 있는 도시 열취약성 평가 방법은 도시계획상 우선 순위가 높은 59 개 지역에 적용되었고 (그림 3) 그 결과를 바탕으로 2 단계로 현재 여름철 열에 가장 취약한 대표 지역 6 곳을 선정하여 세부적인 도시계획 방안을 마련하였습니다 (Mayer et al., 2015; Lee et al., 2016).

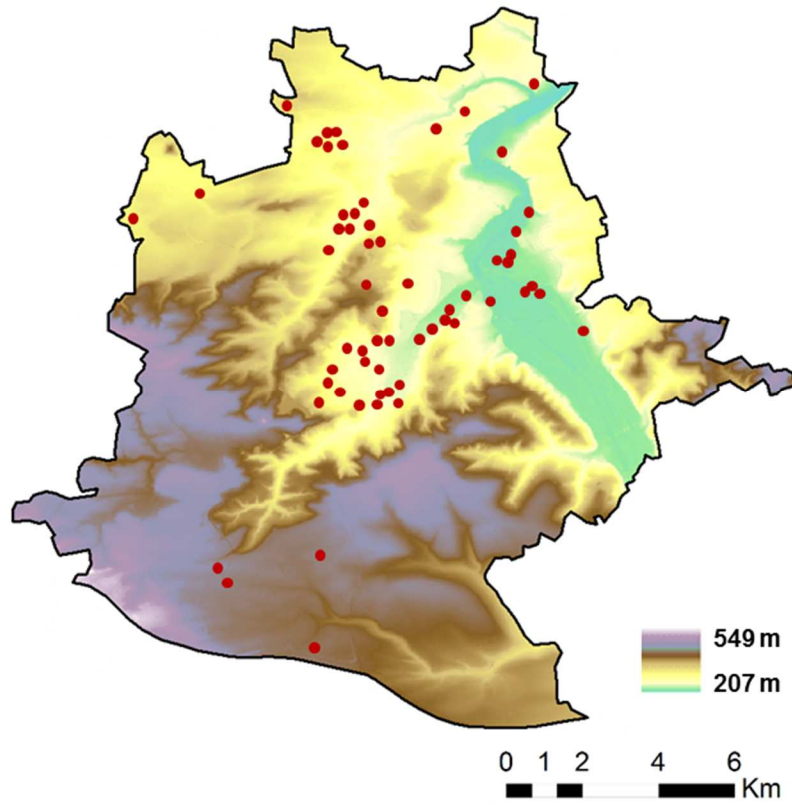


그림 3. 도시 열 취약성 평가가 수행된 59 개 NBS 지역 (Lee et al., 2017)

## (2) 적합한 도시계획을 통한 열 취약 지역의 구체적인 개선 방안

1 단계에서 평가된 도시 열 취약성 결과 중 대응 방안 마련이 시급한 6 개의 지역에 대해 2 단계에서는 3 차원 도시 미기상 모델인 ENVI-met 4.0 을 적용하여 도시계획 시나리오별 도시 열 저감 방안을 도출하게 됩니다.

사용된 모델은 도시 미기상분야의 많은 연구에서 적용 및 검증된 모델로 도시내 열을 평가할 수 있는 기상 변수인 기온( $T_a$ , air temperature), 풍속( $v$ , wind velocity), 평균복사온도( $T_{mrt}$ , mean radiant temperature) 등을 3 차원 도시 공간별로 계산이 가능하며 서브 모듈을 이용해 인체가 느끼는 열 체감을 평가할 수 있는 인체 열 생리학적 지수인 PET(physiologically Equivalent Temperature) 또는 UTCI(Universal Thermal Climate Index)의 계산이 가능합니다 (Lee, 2015).

슈트트가르트시는 앞서 설명한 약 360 개의 NBS 전지역에 대해 KlippS 프로젝트를 통해 개발된 스크리닝 방법을 통해 우선 도시 열 취약지역을 평가한 후 취약성 우선 순위에 따라 구체적이고 장기적인 대응방안으로 각 NBS 지역에 적합한 도시공간계획을 수립합니다.






<p>시나리오 A 현재 상태</p>	
<p>시나리오 B 가상의 포장 공간 상태</p>	
<p>시나리오 C 녹지 상태</p>	
<p>시나리오 D 새로운 도시계획(안)</p>	
<p>시나리오 E 시나리오 D에서 녹지를 제외한 상태</p>	

그림 4. NBS 818 지역에 대한 시뮬레이션 시나리오 (Lee and Mayer 2015; Lee et al, 2017)

그림 4는 다양한 시나리오를 바탕으로 도시 열 취약 지역을 개선하기 위한 사례로서 시뮬레이션 모델을 이용해 현재의 도시 열상태(시나리오 A)와 이를 개선하기 위한 녹지 및 새로운 건축계획(안)을 반영한 시나리오(시나리오 B-E)를 보여줍니다.

제안된 시나리오들은 모델 시뮬레이션을 통해 기온, 풍속, 평균복사온도, 인체 열 생리학적 지수 등과 같이 관련 도시 기상 변수의 정량적인 결과로 평가됩니다. 예를 들어 그림 5는 NBS 818 지역에 대하여 도시 미기상학적으로 가장 취약한 상태인 표면 포장 상태 (시나리오 B)와 열 저감이 가장 큰 녹지 배치 조건 (시나리오 C)의 인체 열 생리학적 지수인 PET의 차이를 정량적으로 보여줍니다.

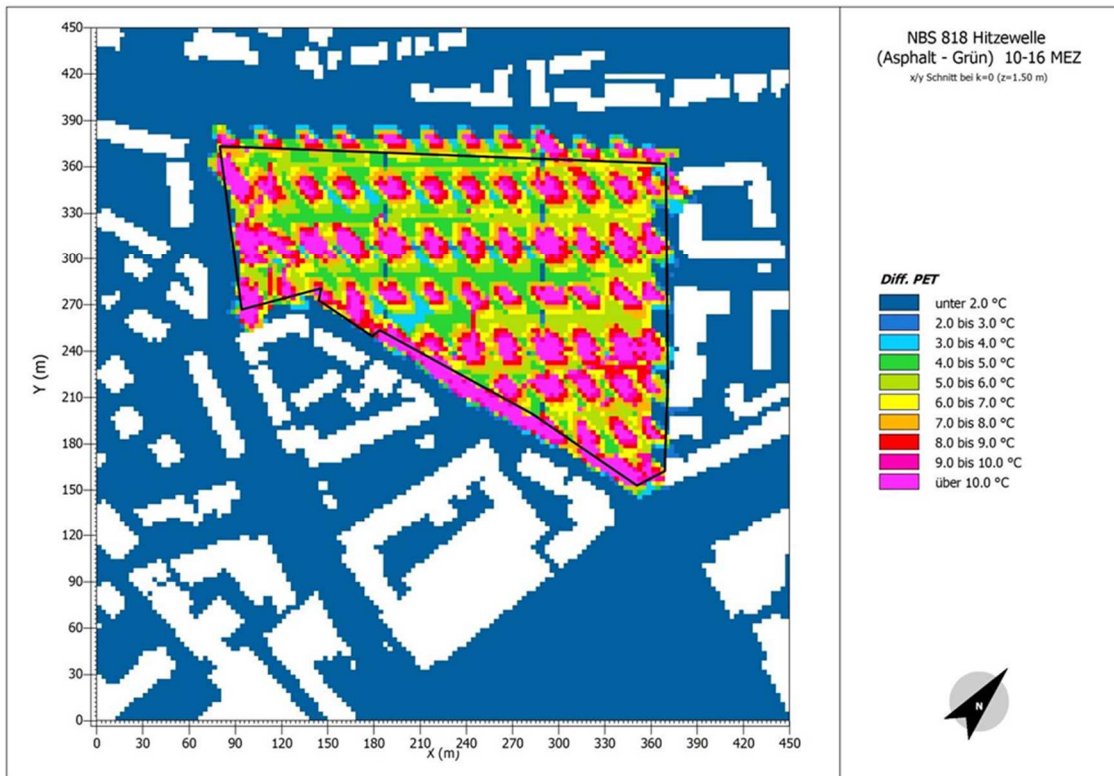


그림 5 NBS 818 지역의 시나리오 B와 C의 인체 생리학적 평형온도 차이 (폭염 발생일 2003년 8월 4일, 10-16시 평균값)

표 1. NBS 818 지역의 시나리오별 평균 기온 ( $T_a$ ), 지표온도 ( $T_s$ , surface temperature), 평균복사온도 ( $T_{mrt}$ ), 생리학적 평형 온도 (PET), 2003년 8월 4일, 10 – 16시 평균값

시나리오	$T_a$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_{mrt}$ (°C)	PET (°C)
A	31.7	39.8	56.6	43.2
B	32.4	48.5	68.3	46.4
C	31.1	30.9	50.0	39.0
D	31.6	37.0	53.1	42.2
E	32.0	45.0	62.5	47.1
B-C	1.3	17.6	18.3	7.4
E-D	0.4	8.0	9.4	4.9

슈트트가르트시 환경보전과와 도시계획과는 각 시나리오별로 분석된 종합적인 도시 열 취약성을 결과 (표 1)를 바탕으로 새로운 도시계획(안)의 평가와 수정 보완을 거친 후 물리적으로 실현 가능한 최종 도시공간계획을 결정합니다.

인간이 살아가고 있는 도시는 다양한 분야가 함께 어우러져 지역 특유의 미기상 조건을 형성합니다. 따라서 기후변화에 따른 친환경적 도시계획에 있어 슈트트가르트에서 적용하고 있는 체계적인 방법의 마련이 중요하지만 도시, 환경, 교통 등 모든 분야의 관련자들이 서로 유기적으로 끊임없이 소통하고 함께 최적의 방안을 모색하는 것이 무엇보다 우선되어야 할 것입니다.

## 참고 문헌

Abteilung Stadtklimatologie (2017) [http:// www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de)

Kuttler, W. (2010) Urbanes Klima. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 (70), 329-340.

Lee, H. (2015) Increasing heat waves require human/biometeorological analyses on the planning-related potential to mitigate human heat stress within urban district. Dissertation, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, doi:10.6094/UNIFR/10428.

Lee, H., Mayer, H. (2015) Human thermal comfort within an urban district dependent on topography and different planning scenarios – numerical case study for the city of Stuttgart (Southwest Germany) on a heat wave day. 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, 19-24 July 2015, Toulouse, France.

Lee, H., Oertel, A., Mayer, H., Kapp, R., Reuter, U., Schmid, M., Schulze Dieckhoff, B., Steinerstauch, B., Lampen, T. (2016), Evaluation method for the human/biometeorological quality of urban areas facing summer heat. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 (76), 275-282.

Lee, H., Kapp, R., Reuter, U., Mayer, H. (2017) Urban human-biometeorology meets urban planning: potential of urban green to maintain outdoor thermal comfort at building sites during severe summer heat. 21<sup>st</sup> International Congress of Biometeorology, 3-7 September 2017, Durham, UK.

Mayer, H., Lee, H., Oertel, A., Schulze Dieckhoff, R., Schmid, M., Steinerstauch, B., Lampen, T., Kapp, R., Reuter, U. (2015) KlippS – Climate Planning Passport Stuttgart. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, U83-W03-N17 (in German).

Reuter, U., Hoffmann, U., Kapp, R. (2010) City of Stuttgart, Climate change-challenge facing urban climatology. Publication series No. 3/2010.

Reuter, U., Kapp, R. (2015). Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg.

Rinke, R., Kapp, R., Reuter, U., Ketterer, C., Fallmann, J., Matzarakis, A., Emeis, S. (2016) Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change – Chapter 10 Pilot Actions in European Cities – Stuttgart. Springer,281-303.