





Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES

### **ZEN Report No. 31**

Marianne Kjendseth Wiik<sup>1</sup>, Selamawit Mamo Fufa<sup>1</sup>, Kristin Fjellheim<sup>1</sup>, Synne Krekling Lien<sup>1</sup> John Krogstie<sup>2</sup>, Dirk Ahlers<sup>2</sup>, Annemie Wyckmans<sup>2</sup>, Patrick Driscoll<sup>2</sup>, Helge Brattebø<sup>2</sup> and Arild Gustavsen<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>) SINTEF Building and Infrastructure, <sup>2</sup>) Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

#### **Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities**

Definition, Key Performance Indicators and Assessment Criteria: Version 2.0

Bilingual version

*(Nullutslippsområder i smarte byer: Definisjon, nøkkellindikatorer og vurderingskriterier. Oversatt til norsk i juni 2018 av: Christofer Skaar)*

Keywords: Zero Emission Neighbourhoods, Definition, Key Performance Indicators, Assessment Criteria

ISBN 978-82-536-1700-8

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)

SINTEF Community | [www.sintef.no](http://www.sintef.no)

<https://fmezen.no>

## Preface

### Acknowledgements

This report has been written within the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN). The author gratefully acknowledge the support from the Research Council of Norway, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF, the municipalities of Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum and Steinkjer, Trøndelag county, Norwegian Directorate for Public Construction and Property Management, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Norwegian Building Authority, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, Asplan Viak, Multiconsult, Sweco, Civitas, FutureBuilt, Hunton, Moelven, Norcem, Skanska, GK, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk - Energi, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Energy Norway, Norsk Fjernvarme and AFRY.

### The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods (ZEN) in Smart Cities

The ZEN Research Centre develops solutions for future buildings and neighbourhoods with no greenhouse gas emissions and thereby contributes to a low carbon society.

Researchers, municipalities, industry and governmental organizations work together in the ZEN Research Centre in order to plan, develop and run neighbourhoods with zero greenhouse gas emissions. The ZEN Centre has nine pilot projects spread over all of Norway that encompass an area of more than 1 million m<sup>2</sup> and more than 30 000 inhabitants in total.

In order to achieve its high ambitions, the Centre will, together with its partners:

- Develop neighbourhood design and planning instruments while integrating science-based knowledge on greenhouse gas emissions;
- Create new business models, roles, and services that address the lack of flexibility towards markets and catalyze the development of innovations for a broader public use; This includes studies of political instruments and market design;
- Create cost effective and resource and energy efficient buildings by developing low carbon technologies and construction systems based on lifecycle design strategies;
- Develop technologies and solutions for the design and operation of energy flexible neighbourhoods;
- Develop a decision-support tool for optimizing local energy systems and their interaction with the larger system;
- Create and manage a series of neighbourhood-scale living labs, which will act as innovation hubs and a testing ground for the solutions developed in the ZEN Research Centre. The pilot projects are Furuset in Oslo, Fornebu in Bærum, Sluppen and Campus NTNU in Trondheim, an NRK-site in Steinkjer, Ydalir in Elverum, Campus Evenstad, NyBy Bodø, and Zero Village Bergen.

The ZEN Research Centre will last eight years (2017-2024), and the budget is approximately NOK 380 million, funded by the Research Council of Norway, the research partners NTNU and SINTEF, and the user partners from the private and public sector. The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host and leads the Centre together with SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

The Editors would like to thank all practitioners and researchers for their contributions. The list below includes the names of the authors that have contributed the most to the various fields:

**GHG Emissions:** Marianne Kjendseth Wiik, Selamawit Mamo Fufa, Christofer Skaar, Helge Brattebø and Carine Lausset.

**Energy:** Synne Krekling Lien, Igor Sartori, Inger Andresen, Ove Wolfgang and Åse Lekang Sørensen.

**Power:** Igor Sartori, Synne Krekling Lien, Inger Andresen, Ove Wolfgang and Åse Lekang Sørensen.

**Mobility:** Selamawit Mamo Fufa, Michael Klinski and Daniela Baer.

**Economy:** Selamawit Mamo Fufa, Michael Klinski and Marianne Kjendseth Wiik.

**Spatial Qualities:** Daniela Baer, Tobias Nordström, Brita Fladvad Nielsen, Taru Uusinoka, Dirk Ahlers, Inger Andresen, Bendik Manum, Lillian Rokseth and Annemie Wyckmans.

**Innovation:** Terje Jacobsen, Ann Kristin Kvellheim, Ruth Woods and Asgeir Tomasgard.

In addition, the ZEN definition report was sent for external hearing to all ZEN partners. The editors would like to thank all ZEN partners for their contributions. The following ZEN partners have sent in suggestions, comments and contributions to this version of the ZEN definition report:

Asplan Viak, Bodø kommune, Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK), Energi Norge, Forskningsrådet, Heidelberg cement / Norcem, Norsk Fjernvarme, Statkraft Varme, Statsbygg, Sweco and Trondheim kommune.

## Document history

Version	Date	Version description
Version 1.0	2018	The first version of this document outlined the central definition, key performance indicators (KPI) and assessment criteria used in the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN research centre). The seven ZEN categories (GHG emission, energy, power, mobility, spatial qualities, economy and innovation) and their related KPIs were described.
Version 2.0	2021	This second version (version 2.0) of the Zero Emission Neighbourhood (ZEN) definition builds upon V0.1 of the ZEN definition report. The ZEN categories GHG emission, energy and power has been updated after the KPIs has been tested in different pilot projects. There is also a new chapter (chapter 5) on the ZEN KPI tool and framework. The ZEN categories mobility, spatial qualities, economy and innovation are only partly updated in this version and will be further developed in the next version (version 3.0) of the ZEN definition.

## Dokumenthistorikk

Versjon	Dato	Versjonsbeskrivelse
Versjon 1.0	2018	Den første versjonen av dette dokumentet beskrev definisjonene, nøkkelindikatorer (KPI) og vurderingskriterier som benyttes i forskningssenteret for nullutslippsområde i smarte byer (ZEN senteret). De syv ZEN kategoriene (klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, stedskvaliteter, økonomi og innovasjon) og relaterte KPI-er ble beskrevet.
Versjon 2.0	2021	Denne andre utgaven (versjon 2.0) av definisjonen av nullutslippsområder (ZEN) bygger på v1.0 av ZEN definisjonsrapporten. ZEN kategoriene klimagassutslipp, energi og effekt er oppdatert etter at KPI-ene har blitt testet ut i forskjellige pilotprosjekter. Det er også lagt til et nytt kapittel (kapittel 5) som omhandler ZEN KPI verktøyet og rammeverket. ZEN kategoriene mobilitet, stedskvaliteter, økonomi og innovasjon er delvis oppdatert i denne utgaven og disse kategoriene vil bli videre utviklet i neste utgave (versjon 3.0) av ZEN definisjonen.

## Abstract

This document outlines the definition, key performance indicators (KPI) and assessment criteria for the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN research centre). This second version of the ZEN definition builds upon version v.1.0 of the ZEN definition (1). The ZEN categories for GHG emission, energy and power have been updated after having been tested in selected pilots. In addition, a description of ZEN KPI tool and framework has been added. Finally, the ZEN categories mobility, spatial qualities, economy, and innovation have been partly updated. Over 100 people involved in the ZEN research centre have contributed to this document.

### ZEN Definition

In the ZEN research centre, a neighbourhood is defined as a group of interconnected buildings with associated infrastructure<sup>1)</sup>, located within a confined geographical area<sup>2)</sup>. A **zero emission neighbourhood** aims to reduce its direct and indirect **greenhouse gas (GHG) emissions** towards zero over the analysis period<sup>3)</sup>, in line with a **chosen ambition level** with respect to which life cycle modules and building and infrastructure elements to include<sup>4)</sup>. The neighbourhood should focus the following, where the first four points have direct consequences for energy and emissions:

- a. Plan, design and operate buildings and associated infrastructure components towards zero life cycle **GHG emissions**.
- b. Become highly **energy efficient** and powered by a high share of new **renewable energy** in the neighbourhood energy supply system.
- c. Manage energy flows (within and between buildings) and exchanges with the surrounding energy system in a smart and **flexible way**<sup>5)</sup>.
- d. Promote sustainable transport patterns and smart mobility systems.
- e. Plan, design and operate with respect to **economic sustainability**, by minimising total life cycle costs.
- f. Plan and locate amenities in the neighbourhood to provide good **spatial qualities** and stimulate **sustainable behaviour**.
- g. Development of the area is characterised by innovative processes based on new forms of cooperation between the involved partners leading to **innovative solutions**.

<sup>1)</sup> Buildings can be of different types, e.g. new, existing, retrofitted or a combination. Infrastructure includes grids and technologies for exchange, generation and storage of electricity and heat. Infrastructure may also include grids and technologies for water, sewage, waste, mobility and ICT.

<sup>2)</sup> The area has a defined physical boundary to external grids (electricity and heat, and if included, water, sewage, waste, mobility and ICT). However, the system boundary for analysis of energy facilities serving the neighbourhood is not necessarily the same as the geographical area.

<sup>3)</sup> The analysis period is normally 60 years into the future, assuming 60 years service life of buildings and 100 years service life of infrastructure, and relevant service life for components that will be replaced.

<sup>4)</sup> The standard NS-EN 15978 "Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method" and the proposed new standard NS 3720 "Methods for greenhouse gas calculations for buildings", defines a set of life cycle modules; material production (A1-A3), construction (A4-A5), operation (B1-B7 in NS-EN 15978 and B1-B8 in NS 3720), end-of-life (C1-C4), and benefits and loads beyond the system boundary (D). NS 3451 "Table of building elements" provides a structured nomenclature checklist of building elements which can be used to define the physical system boundary. A given zero emission neighbourhood should have a defined ambition level with respect to which of these life cycle modules to include, and which building and infrastructure elements to include. It is up to the owner of a ZEN project to decide such an ambition level, but this should be unambiguously defined according to the modulus principle of NS-EN 15978 and NS 3720. In the FME-ZEN Centre, further work is carried out to clarify what should be the recommended minimum ambition level for ZEN pilot projects. Further work is done to clarify how to calculate CO2 emission gains from local renewable energy production, and the FME-ZEN does not currently bind to the method of emission calculations in NS-EN 15978 and NS 3720.

<sup>5)</sup> Flexibility should facilitate the transition to a decarbonised energy system and reduction of power and heat capacity requirements.

## Sammen drag

Denne rapporten beskriver definisjonen, nøkkelindikatorer og vurderingskriterier som benyttes i forskningssenteret for nullutslippsområde i smarte byer (ZEN-senteret). Denne andre utgaven av ZEN-definisjonen bygger på versjon v.1.0 av ZEN-definisjonen (1). ZEN-kategoriene klimagassutslipp, energi og effekt er oppdatert etter å ha blitt testet ut i utvalgte piloter. I tillegg er det lagt til en beskrivelse av ZEN KPI-verktøyet og rammeverket. Videre er ZEN-kategoriene mobilitet, steds kvaliteter, økonomi og innovasjon blitt delvis oppdatert. Til sammen har over 100 eksperter fra ZEN-senteret bidratt til dette dokumentet. Rapporten foreligger både på engelsk og norsk.

### ZEN Definisjon

Forskningssenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN) definerer et "område" som en samling bygninger med tilhørende infrastruktur <sup>1)</sup>, lokalisert innenfor et avgrenset geografisk område <sup>2)</sup>. Et **nullutslippsområde** har som målsetning å redusere sine direkte og indirekte **utslipp av klimagassutslipp** mot null innenfor sin analyseperiode <sup>3)</sup>, i tråd med et **valgt ambisjonsnivå** med hensyn til hvilke livsløpsmoduler og bygnings- og infrastrukturelementer som inkluderes <sup>4)</sup>. Området bør ha fokus på følgende, der de fire første punktene har direkte konsekvens for energi og utslipp:

- a. Planlegging, design og drift av bygninger og deres tilhørende infrastruktur komponenter med sikte på **null klimagassutslipp** over livsløpet.
- b. Oppnåelse av høy **energieffektivitet** og en høy andel av **ny fornybar energi** i områdets forsyningssystem for energi.
- c. Smart styring av energiflyten i området (i bygg og mellom bygg) og av utvekslinger med det omkringliggende energisystemet, som sikrer **fleksibilitet** <sup>5)</sup>.
- d. Fremme **bærekraftige transportmønstre** og smarte mobilitetssystemer.
- e. Planlegging, design og drift med hensyn på **økonomisk bærekraft**, ved minimerte levetidskostnader.
- f. Arealplanlegging sikrer gode **steds kvaliteter** og stimulerer bærekraftig atferd.
- g. Utviklingen av området er preget av innovative prosesser som benytter nye former av samarbeid mellom de involverte aktører som fører til **innovative løsninger**.

<sup>1)</sup> Bygninger kan være av ulike typer, f.eks. nye, eksisterende, energioppgraderte eller en kombinasjon. Infrastruktur inkluderer nettverk og teknologier for utveksling, produksjon og lagring av elektrisitet og varme. Infrastruktur kan eventuelt også inkludere nettverk og teknologier for vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT.

<sup>2)</sup> Området har en definert fysisk grense til eksterne nettverk (elektrisitet og varme, og hvis inkludert, vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT). Systemgrensen for vurdering av energianlegg som betjener området er derimot ikke nødvendigvis lik den geografiske områdeavgrensningen.

<sup>3)</sup> Analyseperioden er normalt 60 år, der det antas 60 år levetid for bygning og 100 år for infrastruktur, samt relevant levetid for komponenter som skiftes ut.

<sup>4)</sup> Standarden NS-EN 15978 "Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøprestasjon – Beregningsmetode" og den foreslåtte nye standarden NS 3720 "Metode for klimagassberegninger for bygninger", definerer et sett av livsløpsmoduler; produkter (A1-A3), gjennomføringsfase (A4-A5), bruksfase (B1-B7 i NS-EN 15978 og B1-B8 i NS 3720), livsløpets slutfase (C1-C4), og fordeler og ulemper utover systemgrensen (D). NS 3451 "Bygningsdelstabell" fastlegger inndeling i bygnings- og installasjonsdeler for systematisering, klassifisering og koding av informasjon som omfatter de fysiske delene av bygningen og de tilhørende utvendige anlegg. Et gitt ZEN-prosjekt bør ha et definert ambisjonsnivå med hensyn til hvilke av disse livsløpsmodulene som inkluderes, og hvilke infrastrukturelementer som inkluderes. Det er opp til eieren av et ZEN prosjekt å beslutte slikt ambisjonsnivå, men dette bør være entydig definert i henhold til modulprinsippet i NS-EN 15978 og NS 3720. I FME-ZEN senteret arbeides det videre med avklaringer om hva som bør være anbefalt minimumsambisjonsnivå for ZEN pilotprosjekter. Det arbeides også videre med å avklare hvordan beregne CO<sub>2</sub>-utslippsgevinster av lokal fornybar energiproduksjon, og FME-ZEN binder seg per i dag ikke til metodikken for utslippsberegninger i NS-EN 15978 og NS 3720.

<sup>5)</sup> Fleksibilitet bør legges til rette for overgangen til et utslippsfritt energisystem og reduksjon av effektbehov.

# Contents

Document history .....	5
Dokumenthistorikk .....	5
Abstract .....	6
Sammendrag .....	7
1 Introduction .....	11
1.1 Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities .....	11
1.2 The present report .....	12
2 Background .....	13
2.1 The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB research centre).....	13
2.2 Planning Instruments for Smart Energy Communities (PI-SEC) .....	13
2.3 Smart Cities and Communities (SCC).....	14
2.4 Positive Energy Blocks (PEB).....	15
2.5 BREEAM Communities .....	15
2.6 CITYkeys .....	15
2.7 Relevant national and international standards .....	16
3 Definitions.....	17
3.1 ZEN definition.....	17
3.2 Other terms and definitions .....	18
4 ZEN assessment criteria and key performance indicators .....	23
4.1 GHG emissions (GHG) .....	26
GHG1.1 Materials (A1-A3, B4).....	27
GHG1.2 Clean construction (A4-A5).....	28
GHG1.3 Environmental management plan (B1-B3, B5) – Not in use .....	28
GHG1.4 Operational energy use (B6) .....	28
GHG1.5 Operational transport (B8) .....	28
GHG1.6 Circular neighbourhoods (C1-C4) .....	29
GHG1.7 Benefit and load (D).....	29
4.2 Energy (ENE) .....	29
ENE2.1 Energy need in buildings .....	30
ENE2.2 Energy carriers - Delivered and exported energy .....	30
ENE2.3 Energy carriers – Self-consumption and self-generation.....	30
4.3 Power (POW) .....	30
POW3.1 Peak Load .....	31
POW3.2 Peak export .....	31
POW3.3 Utilization factor .....	31
POW3.4 Load flexibility .....	31



4.4	Mobility (MOB) .....	31
	MOB4.1 Green mobility.....	32
	MOB4.2 Access to public transport .....	32
4.5	Economy (ECO) .....	32
	ECO6.1 Life cycle costs (LCC).....	32
4.6	Spatial Qualities (QUA) .....	33
4.7	Innovation (INN).....	34
5	ZEN KPI tool framework.....	34
5.1	ZEN KPI tool conceptual framework.....	34
5.2	Existing tools – ZEN Toolbox.....	35
5.3	ZEN KPI tool specification .....	36
6	Limitations and further work .....	37
	References.....	39
	APPENDIX A: Life cycle modules in accordance with NS 3720 .....	42
	APPENDIX B: Translation of some of the main terminology used in the ZEN definition report from English to Norwegian .....	43

### **Norwegian version/Norsk versjon**

	Sammendrag .....	44
	Abstract.....	45
1	Introduksjon .....	46
1.1	Forskningssenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN-senteret) .....	46
1.2	Denne rapporten .....	47
2	Bakgrunn.....	48
2.1	The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB-senteret).....	48
2.2	Planning Instruments for Smart Energy Communities (PI-SEC) .....	48
2.3	Smart Cities and Communities (SCC).....	49
2.4	Positive Energy Blocks (PEB).....	50
2.5	BREEAM Communities.....	50
2.6	CITYkeys .....	50
2.7	Relevante nasjonale og internasjonale standarder .....	51
3	Definisjoner.....	52
3.1	ZEN-definisjonen .....	52
3.2	Andre begrep og definisjoner .....	53
4	ZEN-vurderingskriterier og nøkkelindikatorer .....	58
4.1	Klimagassutslipp (KGU).....	62
	KGU1.1 Materialer (A1-A3, B4) .....	64
	KGU1.2 Utslippsfri byggefase (A4-A5) .....	64
	KGU1.3 Miljøoppfølgingsplan (B1-B3, B5) – Ikke i bruk .....	64

KGU1.4	Energibruk i drift (B6) .....	64
KGU1.5	Transport i drift (B8).....	65
KGU1.6	Sirkulære nabolag (C1-C4).....	65
KGU1.7	Fordeler og konsekvenser (D).....	65
4.2	Energi (ENE).....	65
ENE2.1	Energibehov i bygg.....	66
ENE2.2	Energibærere – Levert og eksportert energi.....	66
ENE2.3	Energibærere – Egenforbruk og egenproduksjon av lokal fornybar energiproduksjon.....	66
4.3	Effekt (EFF).....	66
EFF3.1	– Maksimal last.....	67
EFF3.2	– Maksimal eksport.....	67
EFF3.3	– Utnyttelsesfaktor.....	67
EFF3.4	– Effektfleksibilitet .....	67
4.4	Mobilitet (MOB) .....	68
MOB4.1	Grønn mobilitet .....	68
MOB4.2	Tilgang til kollektivtransport og bysentrum .....	68
4.5	Økonomi (ØKO).....	69
ØKO6.1	Livssyklus kostnader (life cycle costs, LCC).....	69
4.6	Stedskvaliteter (KVA).....	69
4.7	Innovasjon .....	70
5	ZEN KPI verktøy og rammeverk .....	70
5.1	ZEN KPI verktøyet – konseptuelt rammeverk .....	70
5.2	Eksisterende verktøy – ZEN verktøykassen .....	71
5.3	ZEN KPI verktøyet - spesifikasjon.....	72
6	Begrensninger og videre arbeid .....	73
	Referanser .....	75
	Vedlegg A: Livsløpsmoduler i henhold til NS 3720.....	78
	Vedlegg B: Norsk-engelsk oversettelse av kjernebegreper i ZEN-definisjonsrapporten .....	79

# 1 Introduction

## 1.1 Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities

This document outlines the central definition, key performance indicators (KPI) and assessment criteria used in the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN research centre). This second version (version 2.0) of the zero emission neighbourhood (ZEN) definition builds upon the previous version of the ZEN definition (1). The ZEN categories for GHG emission, energy and power have been updated after tested in selected pilots. In addition, a description of the ZEN KPI tool and framework has been added. Furthermore, the ZEN categories mobility, spatial qualities, economy and innovation have been partly updated. Over 100 people involved in the ZEN research centre have contributed to this document.

The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (2) aims to answer the following research question:

**How should the sustainable neighbourhoods of the future be designed, built, transformed, and managed to reduce their greenhouse gas (GHG) emissions towards zero?**

In the proposal for the ZEN research centre, a preliminary description of a zero emission neighbourhood was provided:

"a group of interconnected buildings with distributed energy resources such as solar energy systems, electric vehicles, charging stations and heating systems, located within a confined geographical area and with a well-defined physical boundary to the electric and thermal grids. The neighbourhood is not seen as a self-contained entity, but is connected to the surrounding mobility and energy infrastructure, and will be optimized in relation to larger city and community structures".

Whilst this preliminary description of the boundary conditions is primarily focused on energy aspects, the concept of the zero emission neighbourhood also has aspects relating, but not limited to, greenhouse gas emissions (GHG), energy (ENG), power (POW), mobility (MOB), economy (ECO), spatial qualities (QUA) and innovation (INN) aspects. This report is updated for the categories GHG emissions, energy and power. A subsequent report (version 3.0) will address in detail mobility, economy, spatial qualities, and innovation categories.

When defining the concept of a zero emission neighbourhood, we have taken inspiration from a range of sources; including, the work of other similar definitions and concepts across Europe, and more specifically Norway. Some of these sources are:

- FME ZEB - The Research Centre on Zero Emission Buildings (3)
- Research project PI-SEC - Planning Instruments for Smart Energy Communities (4)
- Horizon 2020 – Smart Cities and Communities (SCC) (5), (6)
- The definition of PEB – Positive Energy Blocks in Horizon 2020 (7)
- The methodology of BREEAM Communities (8)
- CITYKeys (9)
- Relevant national and international standards

These sources of information are discussed in Chapter 2 Background, and more information can be found in the 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10). In addition, we have organised a series of ZEN partner workshops in 2019/20 on the following subtopics:

- Energy (16<sup>th</sup> September 2019)
- Power (16<sup>th</sup> September 2019)
- Joint workshops: GHG emission and mobility, energy and mobility

Further discussions have taken place between the ZEN definition working group in WP1 and the ZEN guideline working group in WP6 to operationalise the ZEN definition in the ZEN pilot areas. More information on the outcome of these specialized workshops can be found in (10).

In addition, the KPIs have been tested in ZEN pilot areas. For some pilot areas the category topic is evaluated although the specific KPIs in this report has not been tested (indicated by (x) in Table 1).

**Table 1. Overview of testing of KPIs in ZEN pilot areas.**

	GHG	ENE	POW	MOB	ECO	QUA	INN
Bodø		x				(x)	
NTNU	(x)						
Sluppen (Nidarvoll)	x	x	x			(x)	
Mære	x	x					
Flytårnet		x	x			(x)	
Oksenøya		x	x			(x)	
Ydalir	x	x	x	(x)		(x)	
Evenstad		x	x				
Furuset		x	x				
ZVB		x	x	(x)			

## 1.2 The present report

A summary of the major changes made in this version of the ZEN definition report are as follows:

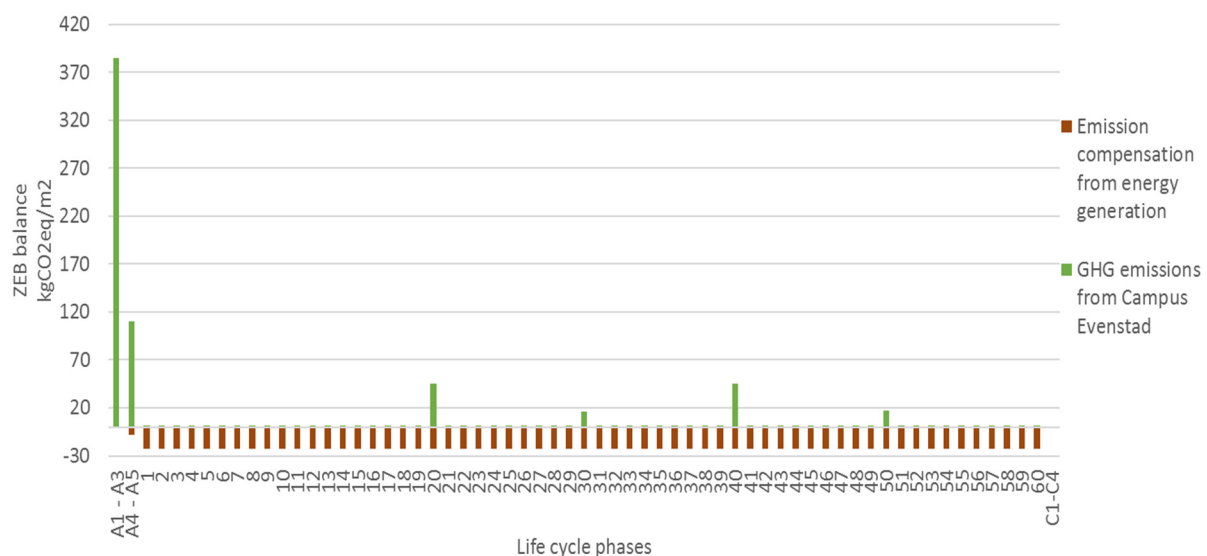
- In this version of the ZEN definition report (v.2.0), the GHG emissions (GHG), energy (ENG) and power (POW) categories have been further developed and refined through empirical research and iterative testing in ZEN pilot areas.
- Table 2: ZEN assessment criteria and Key Performance Indicators (KPIs) have been revised.
- Slight revision of mobility (MOB), Economy (ECO), spatial qualities (QUA) and innovation (INO) categories has been performed.
- New chapter on ZEN KPI tool framework and weighting system with suggestions for ZEN ambition levels has been included.

The structure of this reports is: The background for the ZEN definition report is presented in Chapter 2. The ZEN definition is presented in Chapter 3, whilst a breakdown of the KPIs and assessment criteria included in the ZEN definition is included in Chapter 4. The ZEN KPI Tool and framework is presented in Chapter 5, whilst an overview of the limitations of the ZEN definition report, and scope for further work on the ZEN definition is presented in Chapter 6.

## 2 Background

### 2.1 The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB research centre)

In the ZEB research centre, a methodology was developed for measuring and reporting greenhouse gas (GHG) emissions, in terms of CO<sub>2</sub> equivalents (kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup>/yr), from operational energy use (O), materials (M), construction (C), end-of-life (E) and the use phase (PLET) of buildings (11), (12), (13). These GHG emissions should in a ZEB be compensated for through local renewable energy generation. For each ZEB pilot project, a ZEB ambition level was selected based on the scope of GHG emission calculations. For example, a ZEB-COM ambition level required the building to generate enough local renewable energy to compensate for all GHG emissions relating to the construction phase (C), operational energy use (O), and the production and replacement of materials (M). A more detailed description of the ZEB definition and methodology can be found in ZEB report no.17, ZEB report no. 29 and SINTEF design guideline 473.010 on zero emission buildings (11), (12), (13). Figure 1 shows the time horizon of GHG emissions in ZEB Campus Evenstad's education and administration building over a building lifetime of 60 years. These results show that a high amount of GHG emissions occur during the production and construction phases, contra a low amount of GHG emissions for annual operational energy use because of energy effective solutions and low emission energy resources. The compensation of GHG emissions with renewable, local energy sources also occurs annually, during the 60-year operational phase. There is an increase in GHG emissions at 20, 30 and 40 years because of the replacement of building components during the building's lifetime. Campus Evenstad is also a pilot area in the ZEN research centre.



**Figure 1. Time horizon of GHG emissions and emission compensation from energy generation in ZEB Campus Evenstad's education and administration building (14).**

### 2.2 Planning Instruments for Smart Energy Communities (PI-SEC)

PI-SEC (Planning instruments for smart energy communities) is a Norwegian research project whereby the main deliverable will be a toolkit that aims to resolve both municipal planning (top-down) and project planning and construction (bottom-up) needs. On the municipal planning level, it is important to understand the practice of urban planners and how energy consumption can become an integrated part of Norwegian planning practice, whilst on the project planning and construction level, the toolkit will increase knowledge about which parameters or key performance indicators (KPIs) are

important for smart sustainable cities (4). Between these two levels, there is a challenge to connect key performance indicators for buildings with neighbourhood criteria. This requires a combination of quantitative and qualitative key performance indicators and assessment criteria. The municipal planning toolkit includes a 'planning wheel' approach, whilst the project planning and construction toolkit includes an indicator tool for setting targets. Based on this, PI-SEC specifically investigates CO2 reduction, increased energy efficiency, increased use of renewable energy resources, increased use of local energy sources and green mobility. PI-SEC identifies 21 KPIs through a multi-disciplinary approach at all levels (building, neighbourhood, city, region, nation), and uses two ZEN pilot areas (Zero Village Bergen and Furuset) as test arenas (4).

### 2.3 Smart Cities and Communities (SCC)

The Horizon 2020 Smart Cities & Communities (H2020 SCC) programme is placed under the 'secure, clean and efficient energy' category of the Societal Challenges section of the Horizon 2020 work programme (7). The overall goal is to address the challenge of sustainable development in urban areas. It focuses on new, efficient and user-friendly technologies and services, within energy, transport and ICT. It also highlights the need for integrated approaches in the areas of research, development and deployment.

The SCC programme has a series of lighthouse projects (12 active projects since 2015). These lighthouse projects address city-driven challenges, and demonstrate solutions at scale, by building integrated, highly efficient commercial solutions with a high market potential. The widespread development of lighthouse projects in cities encourages the replication and uptake of new technologies (5), (6). In parallel, efforts have been made to create a reporting platform and database for the Smart Cities Information System (SCIS) (15), as well as key performance indicators in the H2020 project CITYkeys project (9). The SCIS compiles KPIs and monitoring procedures.

Many aspects that are important for the ZEN research centre are also considered in SCC, making SCC a good comparison to the ZEN research centre on the European level. Some of these aspects include:

- development, testing and performance-monitoring
- sustainable energy transition
- increasing energy systems integration and energy performance levels
- integrating innovative solutions for positive energy blocks and districts
- analysing the interaction and integration between buildings, users and energy systems
- storage solutions and electro-mobility
- integration in planning and mixed-use urban districts
- replication of solutions, adapted to different local conditions
- reduction of greenhouse gas emissions and decarbonisation
- improving energy efficiency, storage, integration and self-consumption
- supporting climate mitigation and adaptation goals
- investigating urban, technical, financial, regulatory legal, gender, socio-economics, and social aspects
- developing new business models
- aligning indicators with overall city goals and scaling up to the city level
- including local communities and local governments
- air quality improvement
- big data, data management, digitalisation, data security and protection

## 2.4 Positive Energy Blocks (PEB)

The Horizon 2020 work programme states that, to achieve the necessary energy transition in cities, it is essential to increase energy systems integration and to push energy performance levels significantly beyond the levels of current EU building codes and to realise Europe-wide deployment of positive energy blocks and districts by 2050. The Horizon 2020 work programme provides a definition for positive energy blocks and districts (7):

"Positive Energy Blocks [and] Districts consist of several buildings (new, retro-fitted or a combination of both) that actively manage their energy consumption and the energy flow between them and the wider energy system. Positive Energy Blocks [and] Districts have an annual positive energy balance. They make optimal use of elements such as advanced materials, local [renewable energy sources] RES, local storage, smart energy grids, demand-response, cutting edge energy management (e.g. electricity, heating and cooling), user interaction [or] involvement and ICT. Positive Energy Blocks [and] Districts are designed to be an integral part of the district [or] city energy system and have a positive impact on it. Their design is intrinsically scalable, and they are well embedded in the spatial, economic, technical, environmental and social context of the project site."

## 2.5 BREEAM Communities

BREEAM Communities is a neighbourhood sustainability assessment (NSA) tool developed in the United Kingdom, and later adopted in Norway, that can be used to measure and improve various social, environmental and economic issues in a neighbourhood (8). BREEAM communities should not be confused with BREEAM-NOR – the Norwegian adoption of BREEAM (the British Research Establishment's Environmental Assessment Method) for buildings. BREEAM Communities can be used by planners, local politicians, communities and other relevant statutory bodies. BREEAM Communities provides a holistic framework of assessment criteria that assesses issues concerning sustainability in an early stage of the design process. The tool has been specifically designed for developments which are likely to have significant impacts on future or existing communities and infrastructures. The BREEAM Communities methodology assesses neighbourhoods quantitatively and qualitatively.

## 2.6 CITYkeys

The goal of the CITYkeys project (9) is to support the development of smart city solutions and services, to have an impact upon the most urgent societal challenges relating to both continuous growth and densification of cities, together with EUs energy and climate targets. The overall aim of this two-year project is to develop and validate key performance indicators and different methods for collecting data for both transparent monitoring and comparability of smart city solutions in different European cities. The project has selected indicators that can be utilised when assessing smart city projects, and has key performance indicators at the city level (9).

## 2.7 Relevant national and international standards

A range of national and international standards have been identified as relevant to the ZEN definition and are thus implemented into the ZEN definition framework. To follow, is an overview of these core standards:

- NS-EN 15978: 2011. Sustainability of Construction Works - Assessment of Environmental Performance of Buildings - Calculation Method.
- NS 3720: 2018. Method for Greenhouse Gas Calculations for Buildings.
- NS 3457-3: 2013. Classification of Construction Works – Part 3 Building Types.
- NS 3451: 2009: Table of Building Elements.
- ISO 52000: 2017. Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures.
- SN/TS 3031: 2016. Calculation of energy performance of buildings - Method and data.
- NS 3454: 2013. Life cycle costs for construction works - Principles and classification.
- NS-EN 16627: 2015. Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods
- ISO 15686-5: 2017. Building and construction assets - service life planning. Part 5: Life-cycle costing.
- NS-EN 16258: 2012. Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers).



## 3 Definitions

### 3.1 ZEN definition

The following ZEN definition serves as an overarching guiding principle for the whole ZEN project (2) and its pilot areas (10). The definition is based on previous projects and existing assessment frameworks (such as the ZEB research centre, PI-SEC, SCC, PEB, BREEAM communities and CITYkeys) as well as input from ZEN researchers and partners through numerous discussions and workshops.

In the ZEN research centre, a neighbourhood is defined as a group of interconnected buildings with associated infrastructure <sup>1)</sup>, located within a confined geographical area <sup>2)</sup>. A **zero emission neighbourhood** aims to reduce its direct and indirect **greenhouse gas (GHG) emissions** towards zero over the analysis period <sup>3)</sup>, in line with a **chosen ambition level** with respect to which life cycle modules and building and infrastructure elements to include <sup>4)</sup>. The neighbourhood should focus the following, where the first four points have direct consequences for energy and emissions:

- a. Plan, design and operate buildings and their associated infrastructure components towards minimized life cycle **GHG emissions**.
- b. Become highly **energy efficient** and powered by a high share of new **renewable energy**.
- c. Manage energy flows (within and between buildings) and exchanges with the surrounding energy system in a **flexible way** <sup>5)</sup>.
- d. Promote **sustainable transport** patterns and smart mobility systems.
- e. Plan, design and operate with respect to **economic sustainability**, by minimising total life cycle costs.
- f. Plan and locate amenities in the neighbourhood to provide good **spatial qualities** and stimulate **sustainable behaviour**.
- g. development of the area is characterised by innovative processes based on new forms of cooperation between the involved partners leading to **innovative solutions**.

<sup>1)</sup> Buildings can be of different types, e.g. new, existing, retrofitted or a combination. Infrastructure includes grids and technologies for supply, generation, storage and export of electricity and heat. Infrastructure may also include grids and technologies for water, sewage, waste, mobility and ICT.

<sup>2)</sup> The area has a defined physical boundary to external grids (electricity and heat, and if included, water, sewage, waste, mobility and ICT). However, the system boundary for analysis of energy facilities serving the neighbourhood is not necessarily the same as the geographical area.

<sup>3)</sup> The analysis period is normally 60 years into the future, assuming 60 years service life of buildings and 100 years service life of infrastructure, and relevant service life for components that will be replaced.

<sup>4)</sup> The standard NS-EN 15978 "Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method" and the proposed new standard NS 3720 "Methods for greenhouse gas calculations for buildings", defines a set of life cycle modules; material production (A1-A3), construction (A4-A5), operation (B1-B7 in NS-EN 15978 and B1-B8 in NS 3720), end-of-life (C1-C4), and benefits and loads beyond the system boundary (D). NS 3451 "Table of building elements" provides a structured nomenclature checklist of building elements which can be used to define the physical system boundary. A given zero emission neighbourhood should have a defined ambition level with respect to which of these life cycle modules to include, and which building and infrastructure elements to include. It is up to the owner of a ZEN project to decide such an ambition level, but this should be unambiguously defined according to the modulus principle of NS-EN 15978 and NS 3720. In the FME-ZEN Centre, further work is carried out to clarify what should be the recommended minimum ambition level for ZEN pilot projects. Further work is done to clarify how to calculate CO<sub>2</sub> emission gains from local renewable energy production, and the FME-ZEN does not currently bind to the method of emission calculations in NS-EN 15978 and NS 3720.

<sup>5)</sup> Flexibility should facilitate the transition to a decarbonised energy system and reduction of power and heat capacity requirements.

The ZEN definition is intrinsically scalable, but should always be adapted to its local spatial, economic, technical, environmental, governance, and social contexts. A more detailed discussion of important terminology can be found in section 3.2.

To follow, there must be a clearly defined set of assessment criteria and key performance indicators (KPIs) that address these aspects, which are defined in such a way as to enable the development of quantitative and qualitative methods and tools for assessing the status and progress of ZEN pilot areas in terms of achieving emission reduction goals. To operationalise the ZEN definition, more detailed guideline documents will be made available (10), (16), (17), (18). Furthermore, they will inform how data is measured and collected for the data management platform (19), (10).

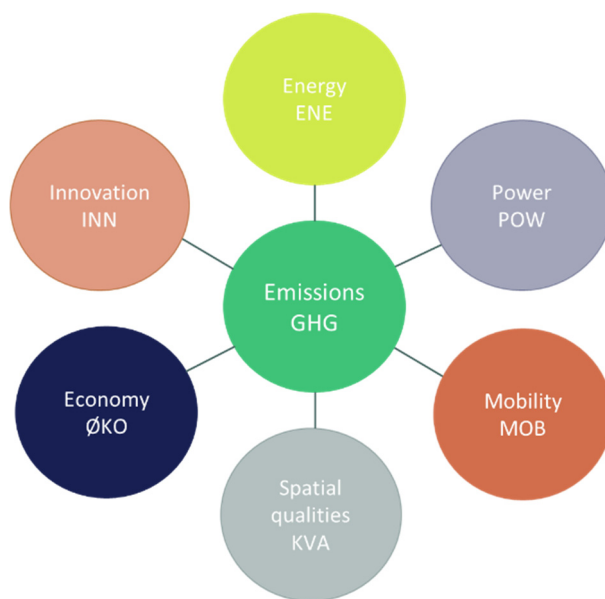


Figure 2 Seven categories in ZEN definition

As a result, the scope of the ZEN definition includes the following seven categories:

- Greenhouse gas emissions (GHG)
- Energy (ENE)
- Power/load (POW)
- Mobility (MOB)
- Economy (ECO)
- Spatial qualities (QUA)
- Innovation (INN)

Each category may have a set of one or more assessment criteria, and for each of those a set of key performance indicators (KPIs) is defined. These categories were identified as important categories by ZEN stakeholders in the ZEN research centre through a series of ZEN definition workshops.

### 3.2 Other terms and definitions

The ZEN research centre utilises interdisciplinary knowledge and experiences from a vast range of fields, and from people with different professional backgrounds. It is therefore important to ensure that we have a common understanding of some of the main terms and definitions used in this ZEN definition report.

**Assessment Criteria:** are requirements that need to be fulfilled for a neighbourhood to be considered environmentally, socially and economically sustainable and feasible (20). Assessment criteria can be either mandatory or voluntary. Criteria may be interconnected, meaning that the fulfilment of one criterion depends upon the fulfilment of another. The criteria use KPIs that are normally quantitative, but some could be qualitative.

**Key Performance Indicator (KPI):** a set of quantifiable performance measurements that define sets of values based on measured data from a project, making it easier to measure and track the neighbourhood's performance over time and against other similar projects (4).

**ZEN metrics:** This umbrella term covers the key values from both assessment criteria and key performance indicators used in the ZEN research centre.

**ZEN KPI tool:** The KPI tool will help partners to operationalise the ZEN definition and show the results for all the ZEN Categories and KPIs. It will compile information on all the KPIs and present it in a comprehensible way.

**ZEN toolbox:** The KPI toolbox is a compilation of existing tools used by ZEN stakeholders to calculate results for each individual KPI. The results from these various tools will be input into the ZEN KPI tool.

**Project phases:** The project phases to be assessed in the ZEN research centre include strategic planning phases, implementation phase and operational phase. A more detailed description of these phases is included in the 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10).

**Sustainability:** the state of the global system, including environmental, social and economic aspects, in which the needs of the present are met without compromising the ability of the future generations to meet their own needs (adapted from the definition in ISO 37100 (21)) as specified by the United Nation's (UN) 17 sustainable development goals (SDG) with 169 associated targets (22).

UN SDG addressed by the ZEN research centre include:

- SDG 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages
- SDG 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all
- SDG 8: Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all
- SDG 9: Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation
- SDG 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable
- SDG 12: Ensure sustainable consumption and production patterns
- SDG 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts
- SDG 15: Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss
- SDG 17: Revitalize the global partnership for sustainable development

### **Categories**

**Greenhouse gas emissions (GHG):** in this instance refer to greenhouse gas (GHG) emissions expressed in terms of kg of CO<sub>2</sub> equivalence calculated according to the IPCC AR5 report (23) in a life cycle perspective. Direct GHG emissions are those taking place directly from a source as consequence of an activity resulting in the GHG emissions, whilst indirect emissions are those occurring through indirect pathways (23). For example, the GHG emissions from driving a car includes not only the direct GHG emissions that come out of the exhaust pipe, but also the indirect GHG emissions that take place when oil is extracted, shipped, refined into fuel and transported to the petrol station, and also the indirect emissions caused by producing, using and disposing the car.

**Energy (ENE):** In physics, energy is the potential to perform work, or the amount of work performed over a period of time. Mathematically, energy is the integral of power/load over time. In

relation to an energy system (e.g. electricity or heat), energy is the load on the grid over time and is measured in (kWh).

**Power/load (POW):** In physics, power/load is the instantaneous rate at which work is performed. Mathematically, power/load is the time derivative of energy. In relation to an energy system (e.g. electricity or heat), power is the instantaneous load on the grid and is measured in (kW). It may also refer to the average value of energy in one hour, and should then be measured in [kWh/h].

**Mobility (MOB):** In this context, mobility refers to inhabitants' and other users' transport patterns within, to and from the neighbourhood. Holiday trips and goods traffic are included.

**Economy (ECO):** In this context, economy refers to economic sustainability, expressed mainly in terms of life cycle costs for buildings, energy and other infrastructure within the neighbourhood, as well as total life cycle system costs from the surrounding energy system. Some other economic aspects will be covered in the innovation category.

**Spatial Qualities (QUA):** In this context, spatial qualities refer to a neighbourhood that is connected, mixed and have access to a diversity of urban attractions. It also refers to the process, the stakeholder dialogue, and the use of local knowledge in planning and design.

**Innovation (INN):** Innovation in ZEN is broadly defined as new or improved products, services, processes, organisational forms and business models that is utilized to gain value creation or be useful to society. Innovation is further defined and specified in an innovation strategy and workplan.

### **System boundaries**

The ZEN research centre utilises interdisciplinary knowledge and experiences from a vast range of fields, and from people with different professional backgrounds. It is therefore important to ensure that we all have a common understanding of system boundaries. At first, an assessment was made to see whether the same system boundaries could be used across the ZEN pilot areas, regardless of whether a KPI or criteria being assessed concerned buildings, energy or other infrastructure. However, it soon became clear that each ZEN definition category (GHG emissions, energy, power, mobility, economy, spatial qualities and innovation) already has established system boundaries and methodologies with various scopes. These different system boundaries have been designed with methodological consequences in mind for each professional field of research. For example, the system boundary for GHG emissions typically excludes existing buildings since the existing building belongs to the previous life cycle of that building. However, all new energy and material processes used for renovating the existing building are included in the system boundaries as the renovation works has initiated a new, longer life cycle for the building. Arguably, the new energy and material processes used in a renovation project will have lower GHG emission impacts compared to constructing a new building of equal performance since parts of the existing building envelope can be reused. The methodological implication of this GHG emission system boundary is that it promotes reuse and recycling in a circular economy. On the other hand, in the energy category, it would be disadvantageous to exclude energy needs for existing buildings from the energy system boundary. Therefore, the ZEN definition acknowledges that system boundaries may vary across the ZEN categories, across the ZEN pilot areas and according to the level of data resolution required to

understand the assessment criteria and KPI being assessed. In this report, we define the following terminology as part of the ZEN system boundaries:

**Neighbourhood:** a group of interconnected buildings (which can be of different types, e.g. new, existing, retrofitted or a combination) with associated infrastructure (which includes grids and technologies for supply, generation, storage and export of electricity and heat, and may also include grids and technologies for water, sewage, waste, mobility and ICT), located within a confined geographical area. The area has a defined physical boundary to external grids (electricity and heat, and if included, water, sewage, waste, mobility and ICT). However, the system boundary for analysis of energy facilities serving the neighbourhood is not necessarily the same as the geographical area. The system boundary for each ZEN pilot area is also dependent on the case and may vary accordingly.

**Building assessment boundary:** describes which elements of building(s) in the ZEN pilot areas should be included in the system boundary. This may vary for each category (e.g. GHG emissions, energy, power/load, mobility, economy, spatial qualities and innovation) identified in the ZEN definition. More details on the scope of the building assessment boundary can be found in (10) under the GHG emissions, energy, power/load, economy, mobility and spatial qualities chapters.

**Neighbourhood assessment boundary:** describes which neighbourhood elements in the ZEN pilot areas should be included in the system boundary. This may vary for each category (e.g. GHG emissions, energy, power/load, mobility, economy, spatial qualities and innovation) identified in the ZEN definition. For example, the 'energy-boundary' for the electric or thermal grid is not necessarily the same as the geographical area of buildings and other infrastructure. More details on the scope of the neighbourhood assessment boundary can be found in (10) under the GHG emissions, energy, power/load, mobility, economy and spatial qualities chapters.

**LCA system boundary:** (relevant for the emissions category) is more commonly referred to as just 'system boundaries' and is used in life cycle assessment (LCA) methodology. It defines what is included and excluded in the assessment, and also describes the scope of the assessment (adapted from the definition in EN 15643 (24)). The system boundary for the life cycle phases can be defined in accordance with the life cycle modularity principle in NS-EN 15978 (25) and NS 3720 (26) (see Appendix A), whilst the physical system boundary can be defined according to NS 3451 (27). In the ZEN research centre, the whole life cycle shall be reported from extraction of raw materials, production, transport, installation, use, maintenance, repair, replacement, energy during operation, water during operation, transport during operation, deconstruction, waste treatment, reuse, recovery and end use of waste in a circular economy.

More details on these terms are discussed in the 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10). The translation of some of the main terminology used in the ZEN definition report from English to Norwegian are presented in Appendix B.

**Emission free construction site:** is a construction site that doesn't have any direct and indirect GHG emissions from its construction site activities. Electric or hydrogen powered construction machinery,

electricity use for heating, drying and electricity, use of zero emission vehicle transport to, from and at the construction sites are some of examples of emission free alternatives (28).

**Fossil free construction site:** is a construction site that doesn't use any fossil fuels in any of its on-site activities. Fossil free construction site use bioenergy and biofuels or alternative emission free renewable energy resources such as electricity and hydrogen (28).

## 4 ZEN assessment criteria and key performance indicators

The set of assessment criteria and key performance indicators (KPIs) shown in Table 1, have been developed based on previous projects and existing assessment frameworks (such as the ZEB research centre, PI-SEC, SCC, PEB, BREEAM communities and CITYkeys) as well as input from ZEN researchers and partners through numerous discussions and workshops. The criteria and KPIs were identified and defined by experts for each category. The criteria and KPIs utilise existing policies, frameworks, standards and references that professionals within each of those fields are already familiar with. The criteria and KPIs will be used to track, understand and validate the progress and performance of the ZEN pilot areas, and may also be used outside of the ZEN research centre to quantify and qualify the performance of other neighbourhoods. The criteria and KPIs are grouped into seven categories, namely GHG emissions (GHG), energy (ENE), power (POW), mobility (MOB), economy (ECO), spatial qualities (QUA) and innovation (INN). Each category has 1-3 assessment criteria and for each of those a set of KPIs. Not all KPIs can be measured during all project phases (strategic planning phase, implementation phase and operational phase (annually)), therefore Table 2 includes an overview showing which project phases the criteria and KPIs are valid for.

Through the various ZEN workshops, the ZEN partners have highlighted the importance of clearly defining system boundaries and have identified a need for a 'building assessment boundary' and a 'neighbourhood assessment boundary'. These boundaries can be used across the various ZEN definition categories that assess criteria and KPIs and may vary according to the needs and requirements of each category. As a result, for each criterion and KPI information is given as to whether the criteria and KPI is valid at the building assessment boundary level (B), neighborhood assessment boundary level (N) or both (BN).

In this ZEN definition report, the criteria and KPIs are shown in Table 2. When describing KPI requirements, efforts have been made to use methodological and organisational maturity by setting either (in order of preference):

1. Performance targets e.g.  $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2/\text{yr}$
2. Reduction targets e.g. %
3. Information targets e.g. LCA declaration, or use of EPDs
4. Prescriptive targets e.g. timber structure

More details on how to measure the criteria and KPIs in terms of the ZEN pilot areas are presented in the 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10).

**Table 2. ZEN assessment criteria and Key Performance Indicators (KPIs)**

Category	Assessment criteria	KPI	Unit	Building (B), neighbourhood (N) or both (BN)	Standards & References	Strategic planning phase	Implementation phase	Operational phase
GHG	Emission reduction	GHG1.1 Materials (A1-A3, B4)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN	NS-EN 15978 (25), NS 3720 (26), NS 3457-3 (29), NS 3451 (27)	x	x	x
		GHG1.2 Clean construction (A4-A5)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
		GHG1.3 Environmental management plan (B1-B3, B5)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
		GHG1.4 Operational energy use (B6)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
		GHG1.5 Operational transport (B8)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
		GHG1.6 Circular neighborhoods (C1-C4)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
	Compensation	GHG1.7 Benefit and loads (D)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	BN		x	x	x
ENE	Energy efficiency in buildings	ENE2.1 Energy need	kWh/m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	B	SN/TS 3031 (30), ISO 52000 (31)	x	x	x
	Energy carrier	ENE2.2 Delivered and exported energy	kWh/yr	BN	SN/TS 3031 (30), ISO 52000 (31), IEA EBC Annex 52 (32), ZEN research centre (2)	x	x	x
		ENE2.3 Self-consumption and self-generation	%	BN		x	x	x
POW	Power performance	POW3.1 Peak load	kW	BN	Engineering praxis, ZEN research centre (2) IEA EBC Annex 67 (33)	x	x	x
		POW3.2 Peak export	kW	BN		x	x	x
		POW3.3 Utilisation factor	%	BN		x	x	x
		POW3.4 Load flexibility				x	x	x



Category	Assessment criteria	KPI	Unit	Building (B), neighbourhood (N) or both (BN)	Standards & References	Strategic planning phase	Implementation phase	Operational phase
<b>MOB*</b>	Mode of transport	MOB4.1 Green mobility	% share	N	NS-EN 16258 (34), NS 3720 (26), CityKEYS 3.2.3 (9) BREEAM Communities TM01, TM04, TM06 (8)	x	x	x
	Access	MOB4.2 Access to public transport and city centre	Meters	N		x	x	x
		MOB4.3 Car ownership		N		x	x	x
		MOB4.4 Off-street parking		N		x	x	x
<b>ECO*</b>	Life cycle cost (LCC)	ECO6.1 Life cycle cost (LCC)	NOK	BN	NS 3451 (27), NS 3454 (35), NS-EN 16627 (36), ISO 15686-5 (37), Norsk prisbok (38)			
			NOK/m <sup>2</sup> heated floor area (BRA)/yr	B			x	x
			NOK/m <sup>2</sup> outdoor space (BAU)/yr	N				
			NOK/capita	BN				
<b>QUA*</b>	Process	QUA5.1 Demographic analysis	qualitative	BN	BREEAM Communities GO01, SE02 (8)	x	x	x
		QUA5.2 Stakeholder analysis		N		x	x	x
		QUA5.3 Needs assessment		N		x	x	x
		QUA5.4 Consultation plan		N		x	x	x
	Urban form	QUA5.5. Urban accessibility	No. of categories	N		x	x	x
		QUA5.6 Street connectivity	Distance	N		x	x	x
		QUA5.7 Land use mix	Share of residents	N		x	x	x
		QUA5.8 Centrality	Distance	N		x	x	x
<b>INN**</b>								

\*These KPI's will be further developed in 2021

\*\*Assessment criteria and KPI's for the innovation category can be measured both quantitative and qualitative. The method and KPI's will be further developed in 2021.

When assessing criteria and KPIs, a multi-criteria analysis approach will be used, due to the multiple dimensions involved in the ZEN definition. This allows for different dimensions to be evaluated alongside each other simultaneously.

As with any set of assessment criteria and KPIs, users should evaluate the proposed indicators against data availability and reliability, alignment with existing monitoring and evaluation methods (both in Norway and in Europe), relevance to existing city-wide strategic goals, and applicability to project scale (i.e. building, block, district, or city scale). Such adaptations for pilot areas shall be harmonised with the ZEN definition, metrics, data management and monitoring working group in WP1, and the ZEN pilot area partners in WP6. Visualisation of the results will be investigated in first versions of the data management (19) and data visualisation reports, developed further in subsequent versions of these reports, and tie back to subsequent versions of the ZEN definition report. More details on how to use the criteria and KPIs can be found in (10), whilst further details on the monitoring and tracking of the KPIs and criteria can be found in (19).

#### 4.1 GHG emissions (GHG)

The primary goal of the ZEN research centre is for a zero emission neighbourhood to reduce its direct and indirect **GHG emissions towards zero** over the analysis period, in line with a chosen ambition level with respect to which life cycle modules and building and infrastructure elements to include. To achieve this, the neighbourhood must plan, design and operate buildings and their associated infrastructure components towards minimised life cycle GHG emissions from the whole life cycle; from extraction of raw materials, production, transport, installation, use, maintenance, repair, replacement, energy during operation, water during operation, transport during operation, deconstruction, waste treatment, reuse, recovery and end use of waste in a circular economy (see Figure 3).

During the ZEN workshops, the top down approach used in the Global Protocol for Community-Scale GHG Emission Inventories report (39) was suggested for use, but deemed unsuitable during the planning and design phases of a neighbourhood, as the top down approach does not follow the modular life cycle approach and has been developed for cities (not neighbourhoods) which are already operational. Additionally, it is difficult to separate out direct and indirect emissions from different emission factor sources (e.g. environmental product declarations) to follow the scope 1, 2 and 3 system boundaries suggested in (39).

Therefore, KPIs in the GHG emissions category build upon pre-existing standards and methodologies used in the building and construction industry, such as NS 3720 A methodology for GHG emission calculations for buildings (26), EN 15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method (25) and NS 3451 Table of building elements (27). Here it is important to note that the ZEN LCA methodology includes life cycle module B8 from NS3720 on transport in operation. These standards and methodologies will be adopted and expanded for use at both the building and neighbourhood level through future ZEN definition, ZEN guideline (10) and ZEN LCA reports (16), (17).

A1-3 Product Stage			A4-5 Construction Process Stage		B1-7 Use Stage								C1-4 End of Life				D Benefits and loads
A1: Raw Material Supply	A2: Transport to Manufacturer	A3: Manufacturing	A4: Transport to building site	A5: Installation into building	B1: Use	B2: Maintenance (incl. transport)	B3: Repair (incl. transport)	B4: Replacement (incl. transport)	B5: Refurbishment (incl. transport)	B6: Operational energy use	B7: Operational water use	B8: Operational transport use	C1: Deconstruction / demolition	C2: Transport to end of life	C3: Waste Processing	C4: Disposal	D: Reuse, recovery, recycling
GHG1.1			GHG1.2		GHG1.3			GHG1.4	ΣB2-B4	GHG1.4		GHG1.5	GHG1.6				GHG1.7
										ENE							ENE
										POW							

**Figure 3. An overview of GHG KPIs per life cycle of buildings and infrastructure. Results from the Energy, Power and Mobility categories will feed into KPIs GHG1.4, GHG1.5 and GHG1.7, respectively**

For all GHG KPIs, emissions will be calculated according to both the building assessment boundary and neighbourhood assessment boundary, and will use the life cycle modularity principle in NS 3720 (26), EN15978 (25) and NS 3451 (27) as starting points. Total GHG emissions will be measured in terms of tonnes of carbon dioxide equivalents (tCO<sub>2eq</sub>) for the neighbourhood, energy systems, other infrastructure, mobility, buildings, components and materials. The buildings within a neighbourhood will be divided according to NS 3457-3: 2013 Classification of construction works - Part 3: Building types, which covers building categories, such as apartment buildings, schools and nursing homes (29). In addition, a key performance indicator of '1m<sup>2</sup> heated floor area (BRA) per year' over a building's reference study period of 60 years (kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup>/yr) will be used at the building level for comparing pilot projects. The KPIs will connect the tracking and reporting of total GHG emissions during the various project phases (strategic planning phase, implementation phase, and operational phase) to the goal of the ZEN definition (a zero emission neighbourhood aims to reduce its direct and indirect GHG emissions towards zero over the analysis period, in line with a chosen ambition level with respect to which life cycle modules to include) by showing the reductions in GHG emissions compared to reference values.

A life cycle matrix for reporting total GHG emissions can be found in the 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10). This also includes the time perspectives of GHG emissions. GHG emission factors (e.g. emission factors for different energy carriers) will be developed during the ZEN research centre (40).

The KPIs for the GHG emission category is grouped into "GHG emission reduction KPIs" and "GHG emission compensation KPI". The KPIs for GHG emissions reduction are GHG1.1 Materials (A1-A3, B4), GHG1.2 Clean construction (A4-A5), GHG1.3 Environmental management plan (B1-B3, B5), GHG1.4 Operational energy use (B6), GHG1.5 Operational transport (B8), GHG1.6 Circular neighbourhoods (C1-C4). The KPI for GHG emission compensation is GHG1.7 Benefit and load (D).

GHG1.1 Materials (A1-A3, B4)

The objective of this KPI is to minimise the total embodied GHG emission from a neighbourhood life cycle towards zero with a focus on material use across a reference period of 60 years. The goal is to reduce the embodied GHG emission from the production and replacement phases of materials (life cycle modules A1-A3 and B4) for each building and infrastructure within the neighbourhood. The

calculation of this KPI should be completed according to NS 3720 basic or advanced for life cycle module A1-A3 and B4. System boundaries and scope for NS 3720 basic should include the building elements 21-29 and 49 while for NS 3720 advanced building elements 31-69 should also be included. The scope for NS 3720 infrastructure covers building elements 71-79.

LCA reports for neighbourhoods should include information on building and infrastructure types, building areas, number of users, reference study period, system boundaries, scenario descriptions, bill of material quantities, emission data sources, results per building and infrastructure for each life cycle module and building part. Relevant reference values can be found in the report (41).

#### GHG1.2 Clean construction (A4-A5)

The goal is to achieve waste free, fossil free and emission free construction of buildings and infrastructure. The goal is to reduce resource utilisation and GHG emissions from the transport to construction site, construction, building and assembly work (life cycle modules A4-A5). The calculation of this KPI should be completed according to NS 3720 basic or advanced for life cycle module A4-A5. The system boundary for construction site activities shall be defined in accordance with NS 3720. Thus, the construction site activities shall include transport of materials, masses and equipment to and from construction sites; mobile and stationary machineries; energy use for heating, cooling, drying, lightning at the construction site and transport and processing of waste generated from construction site activities. The waste report shall include waste fractions in kg for untreated wood; paper, cardboard and carton; glass; iron and other metals; gypsum-based materials; plastic; concrete, brick, leca and other heavy building materials; electric and electronic waste; mineral wool insulation; mixed construction waste; hazardous or special waste and total construction waste sorted. It shall also include the total amount of waste generated on site ( $\text{kg/m}^2$ ) and the percentage of waste fraction recycled.

#### GHG1.3 Environmental management plan (B1-B3, B5) – Not in use

GHG emissions from the operation of buildings and infrastructure (B1-B3 and B5) is not in use. The GHG emission from operational energy use and transport in the operational phase is calculated under GHG1.4 Operational energy use (B6) and GHG1.5 Operational transport (B8) respectively.

#### GHG1.4 Operational energy use (B6)

A prerequisite for GHG 1.4 KPI are the KPIs in the energy category, ENE 2.1 Energy need in buildings and ENE2.2 Energy carriers. GHG1.4 KPI is used to calculate the GHG emission from energy consumption in operation phase calculated per energy carriers. The calculation of this KPI should be completed according to NS 3720 for life cycle module B6. The GHG emission from exported energy over the building's system boundary must be reported separately under GHG1.7 (Benefits and loads, Module D). Scenarios for GHG emissions using different energy carriers should be performed based on NS 3720 scenario 1 (Norwegian electricity mix) and scenario 2 (European electricity mix). The method for GHG emission calculation of district heating/cooling shall follow NS3720.

#### GHG1.5 Operational transport (B8)

A prerequisite for GHG1.5 KPI is the KPIs in the mobility category, MOB4.1 Green mobility, MOB4.2 Access to public transport and city centre, MOB4.3 Car ownership and MOB4.4 Off-street parking. The MOB4.1 KPI for green mobility is used to calculate the GHG emission from converting

to fossil free and emission free transportation technology and shift in transportation mode (towards public transport, walking or bicycling) in the neighbourhood. Documentation can be in percentage share of 'green' transport modes available in the ZEN pilot area, and the number of trips made by different modes of transport, the fuel types and emission factors for vehicles as well as the user ratio per mode of transport to identify transport sharing. The calculation of this KPI should be completed according to NS 3720 for life cycle module B8.

#### GHG1.6 Circular neighbourhoods (C1-C4)

The goal of this KPI is to increase resource efficiency, save material costs and emissions by preserving existing components and materials. GHG1.6 includes emissions from demolition and disposal activities. The emissions from these activities are calculated using scenarios for the percentage of reuse, recycling, energy recovery and/or landfill. The GHG emissions from carbon absorbed during the production phase must be calculated under C3-C4. The calculation of this KPI should be completed in accordance with NS 3720 for life cycle module C1-C4.

#### GHG1.7 Benefit and load (D)

The goal of GHG1.7 is to increase resource efficiency and reduce GHG emissions and cost through implementation of circular economy principles. This KPI includes the benefits and loads outside of the system boundary linked to reuse, recycling, material energy recovery from the end of waste state and/or exported operational energy resulting from construction stage (A1-A3), use stage (B1-B7) and end of life cycle stage (C1-C4). Any output from the product stage (A1-A3) are either treated as co-product if they have values or as waste under A1-A3 and shall not be declared under benefits and loads. The calculation of this KPI should be performed in accordance with EN 15978 and NS 3720.

## **4.2 Energy (ENE)**

One of the most important goal for a zero emission neighbourhood is that it should be become highly **energy efficient**, as the most environmentally friendly energy is the energy not used. Thus, reducing energy demand and energy use should always be the first priority in the transition towards reaching a **decarbonised energy system**, as recognised in the Energy Union's political priorities and the Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) key actions (42), (43).

A zero emission neighbourhood shall be powered by smart, **renewable energy** sources. This means that design and operation of a ZEN pilot area must be focused on using renewables which operate in synergy with the surrounding energy system. To achieve this, there will be a focus on energy storage, power/load management, digitalisation, smart grids and system optimisation.

The KPIs in the energy category refer solely to the energy flows in the operational phase, and thus exclude embodied energy. This is because embodied energy is already covered indirectly by the GHG emission category. However, the operational energy flows will be modelled and/or estimated in all project phases. During the operational phase the KPIs should be evaluated directly from measurement, as far as possible. During the planning and design phases the KPIs should be estimated, e.g. by means of simulations. The energy demand and energy use of the neighbourhood should be calculated/measured over one year with an hourly resolution. These measurements should be presented as graphical information, such as load profiles, load duration curves and color-coded carpet plots. There are three KPIs in the energy category which can award points to the ZEN, which are all

presented as annual totals. The Energy KPIs must be calculated for both the ZEN-pilot and the pilot's reference area.

#### ENE2.1 Energy need in buildings

The net energy need in buildings is a key performance indicator which is calculated according to the *building assessment boundary*, which must be harmonised between ISO 52000 and SN-NSPEK 3031 (31), (30). This typically includes building energy need for: heating, cooling, ventilation, domestic hot water, lighting, and plug loads. The buildings are separated according to NS 3457-3 and SN-NSPEK 3031, which covers building categories, such as apartment buildings, schools and nursing homes (29). The net energy need in buildings is calculated as annual totals, and is not measured in the use phase. Local energy generation is not considered, only the *calculated energy demand* of the buildings is considered.

#### ENE2.2 Energy carriers - Delivered and exported energy

A zero emission neighbourhood manages the energy flows within and between buildings and exchanges with the surrounding energy system in a **flexible** way, responding to signals from smart energy grids, and facilitates the transition towards a **decarbonised energy system**. Therefore, the ZEN definition shall have a strong focus on power flows through energy grids, and especially on power peaks. This category is based on important feedback from ZEN partners during the ZEN definition and energy workshops that took place in 2017.

#### ENE2.3 Energy carriers – Self-consumption and self-generation

Self-consumption and self-generation are KPIs that tells us in what degree local energy production and energy use in an area co-relates. In this version of the ZEN definition ENE2.3 is only calculated for electricity. When calculating self-consumption and self-generation, we look at electricity use and electricity production in the areal separately at hourly values over the year. Self-consumption is an indicator that tells us in what degree the electricity that is produced in an area is used directly in that area (and that does not need to be exported to the energy-grid). Self-generation tells what share of the energy use in an area is covered by self-generated energy. The purpose of ENE2.3 is to increase the degree of self-consumption and self-generation in an area.

### **4.3 Power (POW)**

A zero emission neighbourhood manages the energy flows within and between buildings and exchanges with the surrounding energy system in a **flexible** way, responding to signals from smart energy grids, and facilitates the transition towards a **decarbonised energy system**. Therefore, the ZEN definition shall have a strong focus on power flows through energy grids, and especially on power peaks. This category is based on important feedback from ZEN partners during the ZEN definition and energy workshops that took place in 2017.

The KPIs in this category refer solely to the energy flows between the neighbourhood and energy grids in the operational phase. However, the operational energy flows will be modelled and/or estimated in multiple project phases. During the operational phase the KPIs should be evaluated directly from measurement, as far as possible. During the planning and design phases the KPIs should be estimated, e.g. by means of simulations. All KPIs are calculated with an hourly resolution.

There are 4 Power KPIs. The Power key performance indicators are calculated according to the *neighborhood assessment boundary* (see above), for electricity and district heating (which are energy carriers supplied by a grid). The supplementary documentation requirements for this category include yearly net load profile and the net load duration curve for electricity and district heating.

#### POW3.1 Peak load

The peak load KPI and the peak export KPI are simply the extreme values of the net duration curve. The peak load indicator refers to the maximum positive hourly import load of electricity/district heating to the neighbourhood during an operational year.

#### POW3.2 Peak export

The peak export indicator refers to the maximum net hourly export load of electricity (when the electricity production is higher than the electricity use) from the neighbourhood during an operational year. If there is no net export, then the peak export is equal to zero. Export of district heating is currently not considered in POW3.2 as export of heat is more complicated than the export of electricity, but it may become relevant in future versions of the zen definition.

#### POW3.3 Utilization factor

The utilization factor shows how much of the maximum grid connection capacity is required by the neighbourhood and is calculated for electricity and district heating. The utilization factor is calculated as the sum of the annual delivered and exported energy (with a positive sign) divided by the maximum grid capacity (given by the highest point between the peak load and peak export) multiplied by 8760 hours/year.

#### POW3.4 Load flexibility

The load flexibility indicator(s) will reflect how well the neighborhood exchanges energy with the surrounding energy system (electric and district heating) in a **flexible** way. These KPI will be developed in subsequent versions of the ZEN definition and will likely be calculated at either the neighborhood assessment level or building assessment level, with an hourly or sub-hourly resolution.

Since the coordination of energy flows with smart grids (both electric and thermal) occur at an hourly or sub-hourly level, the focus is on the optimisation of the net load profiles on typical days, distinguishing between seasons (e.g. winter, summer) and weekdays (e.g. weekday, weekend). The load flexibility indicators will reflect the difference in load profiles in a reference scenario, where there is limited control and demand response.

Key performance indicators for 'load flexibility' will be tested and eventually included in the ZEN definition, as they emerge either from in-house development during the ZEN research centre or from external sources, such as the ongoing work from the IEA EBC Annex 67 on 'energy flexible buildings' (33).

## **4.4 Mobility (MOB)**

When selecting the KPIs and criteria for the mobility category, there was a strong wish from the ZEN partners to use criteria from BREEAM Communities (8) and other relevant national studies (44) that best represent the goal of the zero emission neighbourhood. To achieve this goal, the neighbourhood should promote **sustainable transport** patterns through the overall design of the neighbourhood and

implementation of sustainable smart mobility systems both locally and regionally. This can be achieved through good spatial planning and logistics.

Sustainable transport patterns are achieved through the overall design of the neighbourhood and integrated traffic planning measures, which will be supported by smart mobility systems. These aim to reduce the environmental footprint of transport in the neighbourhood and improve the quality of life for its users. In addition, smart mobility systems help reduce journey times, pollution and congestion, promote and encourage healthier and more sustainable travel choices, as well as increase the traffic network capacity and decrease the number of accidents (45). Therefore, KPIs in the mobility category are MOB4.1 Green mobility, MOB4.2 Access to public transport and city center, MOB4.3 Car ownership and MOB4.4 Off-street parking. These KPIs will be assessed at the neighbourhood level, and do not include transport within buildings (e.g. lifts and escalators).

#### MOB4.1 Green mobility

The aim of MOB4.1 KPI is to describe the percentage share of 'green' transport modes available in the ZEN pilot area, and the number of trips made by different modes of transport, including, but not limited to walking, cycling, bus, car, tram, metro, train and boat. Here, it is important to include the fuel types for vehicles (e.g. diesel, petrol, HVO biodiesel, electric and hydrogen) as well as the user ratio per mode of transport to identify transport sharing (e.g. bike sharing, car sharing and percentage share by public transport). The Norwegian travel survey (*reisevaneundersøkelse (RVU)* in Norwegian) is an initial source of information for annual data that needs to be assessed and adapted to the pilots.

#### MOB4.2 Access to public transport

The aim of the access to public transport KPI is to ensure the availability of frequent and convenient public transport, as a low-carbon choice, within the ZEN pilot area. The KPI will assess links to existing and planned public transport nodes (such as train, bus, tram or metro) as well as links to local city centres. The distance from a building within the ZEN pilot area to the nearest transport node, as well as the frequency of transport at peak and off-peak times in urban and rural areas, as given in BREEAM Communities technical manual, can be used as a reference (8).

MOB4.3 Car Ownership and MOB4.4 Off-street parking will be developed in the next version (version 3.0) of the ZEN definition.

### **4.5 Economy (ECO)**

The ZEN researchers and partners expressed an interest in harmonising pre-existing life cycle costing methodology (29), (35), (36), (37) with the ZEN GHG emission methodology and physical system boundaries outlined in the emission category. This will save on time and effort, as much of the same life cycle inventory data can be reused in both instances. Thus, ECO6.1 life cycle costs are considered as economic performance indicators in the **economy** category.

#### ECO6.1 Life cycle costs (LCC)

ECO6.1 include investment or capital costs, annual costs (such as management, operation, maintenance, replacement, development, consumption and cleaning costs) and demolishment costs. This KPI will be assessed at both the building and neighbourhood level. The KPIs for the cost



category will be further developed and tested or further analysed in 2021 and description of the work will be included in version 3.0 of the definition report.

#### 4.6 Spatial Qualities (QUA)

When selecting the criteria for the spatial qualities category, there was a strong wish among partners working in this area to use criteria from BREEAM Communities (8). When considering the ZEN definition, efforts have been made to select criteria from BREEAM Communities that best represent the aim of the ZEN research centre. In the **spatial qualities** category, only indicators relating to quality of public space are taken into account (8). This is because each ZEN pilot area has other, additional requirements from planning authorities regarding the planning and design of spatial qualities. This is due to differences between the ZEN pilot areas in terms of their size, function and location. The expert group have therefore tried to identify mandatory criteria and assessment aspects which are appropriate for all ZEN pilot areas.

According to IPCC, urban form, i.e the size, shape, and configuration of an urban area or its parts, are strongly linked to GHG emissions and energy demand (IPCC 2014) (46). This is especially the case when it comes to transportation demand and amount of car driving. Based on world wide research consensus IPCC have pointed out that density, land use mix, connectivity and accessibility are the key urban form drivers for reducing GHG emissions (IPCC 2014). Interestingly from a ZEN perspective it also seems to be an overlap between the urban form drivers that reduce GHG emissions and the ones creating attractive locations for urban residents and workers (47), (48). There is also research showing the importance of these urban form drivers and social integration in between different neighbourhoods in the city (49).

The KPIs for the spatial qualities category is grouped into "process" indicators and "urban form indicators". These indicators and categorization have been developed through 2020 but not been tested in pilots or further analysed in detail. This work will be performed in 2021 and a more detailed description of the KPIs will follow in version 3.0 of the definition report.

The process indicators consist of QUA5.1 Demographic analysis, QUA5.2 Stakeholder analysis, QUA5.3 Needs assessment and QUA5.4 Consultation plan. The demographic needs and consultation plan criterion is assessed according to the neighbourhood assessment boundary. This criterion is measured qualitatively, whereby the consultation plan ensures that crucial stakeholders for the neighbourhood development are identified and consulted.

The urban form indicators consist of QUA5.5. Urban accessibility, QUA5.6 Street connectivity, QUA5.7 Land use mix, QUA5.8 Centrality.

**QUA5.5 Urban accessibility** is the access to the following five categories of urban attractions within 1 km walking distance for at least 90 % of the residents and workers in an area: local public transport, fast regional public transport, elementary school, local service cluster, and attractive open public spaces. **QUA5.6 Street connectivity** is the number of spatially integrated streets and walking distance to surrounding neighbourhoods. **QUA5.7 Land use mix** is the balance between residents and workers within 500 metres air distance. **QUA5.8 Centrality** is the average walking distance to City centre area.

## 4.7 Innovation (INN)

Innovation is a critical success criteria to ZEN and an innovation strategy is contributing to the achievement of ZEN objectives to design, build, transform and administer sustainable neighbourhoods. The innovation activities in ZEN reflect the needs of the partners of new knowledge, new business opportunities, new networks and ability to deliver new solutions in the market in order to realize the vision of zero emission neighbourhoods. In October 2020, ZEN published its first Innovation Report (50) describing 32 innovations and innovation ideas that are being developed as a part of ZEN. There is planned to be several editions of the ZEN Innovation Report.

Innovations are registered with the following information:

- a. Type of innovation (according to how ZEN define innovation)
- b. Short description of the area of usage.
- c. Market potential: What area of application has the innovation (local, national, international). New or existing market? Who is the customer and the main competitors?
- d. Climate effect: Energy (production or saving), emissions and peak load.
- e. Status and next step. Contact a Technology Transfer Organisation (TTO)?
- f. Is information about the innovation ready to be published/reported?

Innovations are registered along the Technology Readiness Level (TRL)-scale. Assessment criteria and KPIs for the innovation category will be further developed and decided upon during 2021.

## 5 ZEN KPI tool framework

The ZEN KPI tool conceptual framework aims for implementation of the ZEN definition in ZEN pilot areas by testing the ZEN definition based on real data from the ZEN pilot areas (51). The information obtained from mapping of existing tools used by ZEN stakeholders is used as a background to develop a ZEN KPI conceptual framework. The testing of the ZEN definition and KPI tool will be a continuous, iterative process, where the process partly will involve determining suitable minimum requirements, ambition levels, reference values, threshold values, weighting and benchmarking for the successful implementation of a ZEN KPI tool.

### 5.1 ZEN KPI tool conceptual framework

A conceptual framework has been developed for the ZEN KPI tool based on information and experiences from the work with the ZEN definition, ZEN pilot areas, ZEN stakeholders and existing tools, see Figure 4. It builds upon the initial ZEN toolbox framework developed by Houlihan Wiberg and Baer in (52).

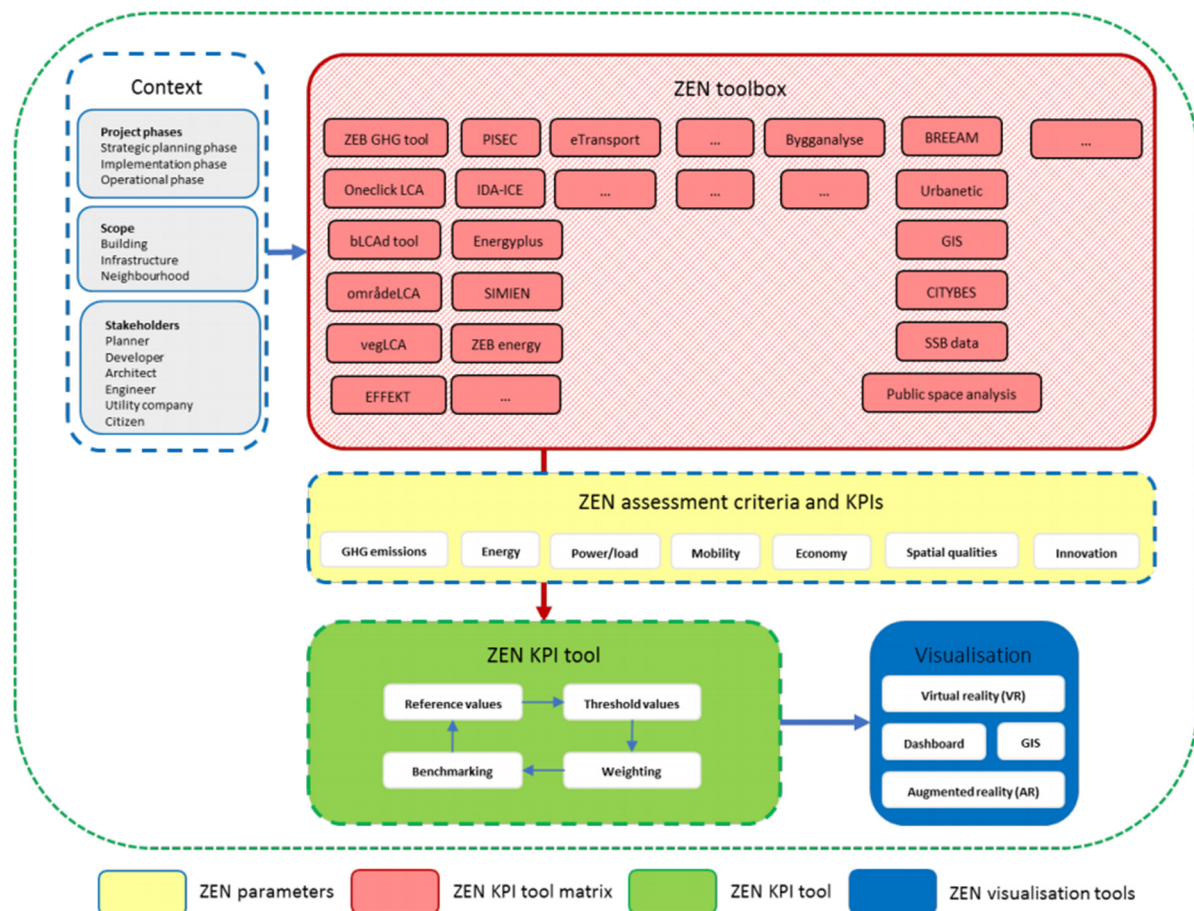


Figure 4. ZEN KPI tool conceptual framework developed from (52).

The framework will be applied in different contexts and will consider the different project phases, scope, and stakeholders. The main components of the framework are:

- the ZEN toolbox which consists of existing tool that can calculate the results for specific KPIs
- the ZEN assessment criteria and KPIs as described in this report
- the ZEN KPI tool which will compile the information on individual KPIs from the tools in the ZEN toolbox and structure it according to the ZEN categories
- visualisation of the results in the form of dashboard, GIS, AR or VR solutions that can be developed in the ZEN project

Within the ZEN KPI tool there is an iterative process that will take place, which involves gathering and setting reference values and threshold value for individual KPIs and defining a weighting and benchmarking within and across the ZEN categories and KPIs.

## 5.2 Existing tools – ZEN Toolbox

The ZEN research centre stakeholders use several tools to document ZEN assessment criteria and KPIs. The following tools have been obtained through mapping of tools used by ZEN pilot projects: GHG emissions (e.g. ZEB emission tool, OneClick LCA, bLCAd-tool, områdeLCA, EFFEKT, PISEC indicator tool, Simapro Arda, vegLCA), energy (e.g. IDA-ICE, ZEB energy tool, PI-SEC indicator tool, Energyplus, SIMIEN), power/load (e.g. eTransport), mobility (e.g. PI-SEC), economy (e.g. Bygganalyse), spatial qualities (e.g. BREEAM Communities, PI-SEC planning wheel, Urbanetic Fabric, GIS, CITYBES, SSB data) and innovation (to be mapped). The findings from mapping of tools show lack of harmonisation between these tools, which leads to difficulties in harmonising the inputs and outputs of a potential ZEN KPI tool. Some of the main issues include differences in system

boundaries, methodology and background data (data bases) used, as well as differences in data resolution used dependent on the phase of the project (i.e. typically a low data resolution is used in the early planning phases and a high data resolution in the latter project phases). The various tools identified in the mapping use a range of different computing formats. Thus, a ZEN KPI tool would need to be flexible and compatible with these different formats (e.g. csv, xml, json, sql and html) (53), (51).

### **5.3 ZEN KPI tool specification**

The main purpose of the ZEN KPI tool is to operationalise the ZEN definition, and aid ZEN stakeholders through the planning, design, construction, and operation of zero emission buildings, infrastructure, and neighbourhoods. The ZEN KPI tool should therefore be flexible, easy to use and understand and have a clear and concise output of the results. It should also be a tool that is transparent and that can be used to compare results between different projects and between different scenarios within a project. As the ZEN definition and the ZEN KPIs are still under development and will be tested and revised in the ZEN pilots, the tool will therefore have to be dynamic and easy to update as long as the ZEN project period lasts. For the KPI tool to be useful it has to have a clear user-perspective and it needs to have functionality so it can be used in various projects phases (i.e. strategic planning phase, implementation phase and operational phase), for various scopes of assessment (i.e. material/component, building/infrastructure, neighbourhood and city) and for several different stakeholders (i.e. planners, developers, architects, engineers, utility companies and citizens etc.). The iterative process that takes place in the KPI tool consists of setting reference values, threshold values, weighting factors and benchmarking values. The reference values will be set according to current standard practice (e.g. net energy need values set according to requirements in the Norwegian building regulations (TEK17) for new buildings), while the threshold, weighting and benchmarking values will be decided through expert workshops with ZEN stakeholders, and by testing data gathered from the ZEN pilot areas in the ZEN KPI tool. Ambition levels and goals for each project can then be set according to the benchmark values (51).

## 6 Limitations and further work

There are some limitations to the ZEN definition report. It should be noted that this second version of the ZEN definition report does not consider the following:

- *Other environmental indicators than GHG emissions:* This is because there is a larger degree of uncertainty with other environmental indicators; other environmental indicators tend to be proportional to GHG emissions; it is easier to communicate environmental impacts to stakeholders in terms of GHG emissions since these are most frequently used and understood by the industry; it would be extremely time consuming to complete a detailed life cycle assessment at the neighbourhood level for all environmental indicators; and there may not be enough life cycle inventory data available for all environmental indicators.
- *Land use change effects:* Methods for assessing the land use change effects are not currently included in the assessment methodology. However, carbon sinks will be accounted for in the GHG emission calculation methodology for the ZEN research centre through, for example, the inclusion of biogenic carbon, carbonation of concrete, carbon sinks from green walls and roofs, and the planting of trees and plants in gardens and parks.
- *Building quality:* This is because building quality should be considered in all building projects as a minimum standard (e.g. law on planning and building regulations (Plan- og bygningsloven (PBL)) and Norwegian building requirements (Byggteknisk forskrift (TEK17)), and is not a prerequisite for zero emission neighbourhoods. If the ZEN definition is not limited to Norwegian planning and building codes then the ZEN definition can also be applied internationally. The focus of the ZEN research centre shall move away from the focus of the ZEB research centre, and have a greater focus on neighbourhoods, energy systems, mobility and other infrastructure. However, aspects such as indoor climate and fire safety are considered together with zero emission strategies in the design, planning, construction and operation of the ZEN pilot areas, in several ZEN work packages, whereby focus is given to holistic planning.
- *The ZEB research centre's emission compensation approach:* The method and experiences from the Norwegian ZEB research centre described in chapter 2.1 of this report are an important development for the field of GHG emission calculations of buildings in Norway. Lessons learnt from the Norwegian ZEB research centre on methodological choices have been incorporated into NS3720 Method for GHG calculations for buildings, and lessons learnt on GHG emission reduction measures (such as material reduction, reuse and recycling) will be transferred to the ZEN research centre. In the ZEN Centre, further work is carried out to clarify what should be the recommended minimum ambition level for ZEN pilot projects and how to calculate CO<sub>2</sub> emission gains from local renewable energy production.
- *Universal design and climate change adaptation:* This is because universal design and climate change adaptation strategies should be considered for all neighbourhood development projects as a minimum standard (e.g. law on planning and building regulations (Plan- og bygningsloven (PBL)) and Norwegian building requirements (Byggteknisk forskrift (TEK17)), and are not prerequisites for zero emission neighbourhoods. If the ZEN definition is not limited to Norwegian planning and building codes then the ZEN definition can also be applied internationally. However, these aspects are considered together with zero emission strategies in the design, planning, construction and operation of the ZEN pilot areas, in several ZEN work packages, whereby focus is given to holistic planning.

The second version of the ZEN definition report has highlighted a considerable scope for further work. Therefore, the following aspects will be resolved in the next version of ZEN definition report:

- KPIs and criteria for Mobility, Economy and innovation category will be further developed and tested.
- Testing, further analysis and detailed description of KPIs and criteria for Spatial quality category will be developed in 2021.

- A process to finetune and adapt ZEN definition and key performance indicators will be set up based on lessons learnt.
- Baseline reference values (and reference projects / base cases) for the KPIs and criteria will be developed to facilitate comparison between the ZEN pilot areas.
- A semi-automatic monitoring and evaluation system to systematically measure qualitative and quantitative data collected during the project period will be designed in collaboration with the work on the ZEN definition and ZEN guidelines.
- *Weighting and benchmarking system (51)*: Not every KPI is suitable for weighting or benchmarking in the ZEN KPI tool, but can be useful information to document and use in some of the other KPIs. It may also be difficult to implement ambition levels and goals in accordance with the ZEN definition when many of the ZEN pilot areas has started and have already set their own goals for reaching ZEN. Existing goals and ambitions in the pilots will have to be harmonised with the ZEN research centres definition. For the weighting and benchmarking it is important to find methods that makes it possible to assess and compare different design alternatives so that they can be compared in order to find the best solutions. In order to weight the different KPI's on of the simplest methods is the simple additive weighting (SAW) model where:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i)$$

- v is the overall value of the evaluation object x,
- xi is the measurement of object x on attribute i,
- vi is the single-attribute value function,
- wi is the weight of attribute i,
- n is the number of attributes

- *Data resolution (51)*: Another issue that needs to be resolved in the ZEN KPI tool is the requirements for data resolution. Examples can be the detail level of the GHG emissions in the different phases of the project.

## References

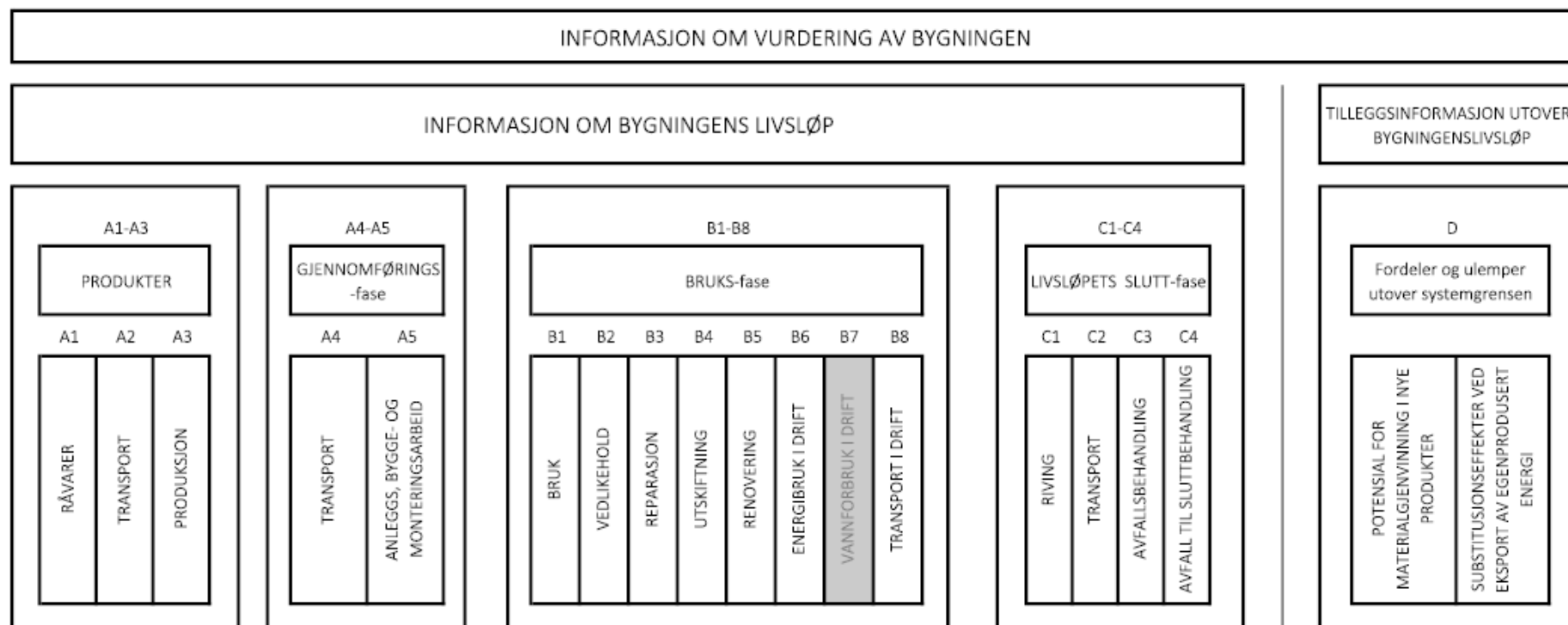
1. Marianne Kjendseth Wiik SMF, John Krogstie, Dirk Ahlers,, Annemie Wyckmans PD, Helge Brattebø and Arild Gustavsen. Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities - Definition, Key Performance Indicators and Assessment Criteria: Version 1.0. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities. 2018;ZEN Report No. 7.
2. ZEN F. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities 2016 [Available from: <http://fmezen.com/>].
3. ZEB. The Research Centre on Zero Emission Buildings 2016 [Available from: <http://www.zeb.no/>].
4. Walnum HT, Sørnes K, Mysen M, Sørensen ÅL, Almås A-J. Preliminary toolkit for goals and KPIs. Oslo; 2017.
5. European Commission. Smart Cities & Communities online: EC; 2017 [Available from: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/smart-cities-communities>].
6. RemoUrban. Smartcities Network online [Available from: <http://www.remourban.eu/smartcities-network/title.kl>].
7. European Commission. Horizon 2020 Work Programme 2018-2020. 10. Secure, clean and efficient energy. 2017 27 October 2017. Contract No.: European Commission Decision C(2017)7124 of 27 October 2017.
8. BREEAM. BREEAM Communities Technical Manual SD202-01.2012. BRE Global Limited. 2012.
9. Bosch P, Jongeneel S, Rovers V, Neumann H-M, Airaksinen M, Huovila A. CITYkeys indicators for smart city projects and smart cities. 2017.
10. Wiik MK, Bær D, Fufa SM, Andresen I, Sartori I, Uusinoka T, et al. A ZEN Guideline for the ZEN Pilot Areas. Version 1.0. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities. 2018.
11. Kristjansdottir T, Fjeldheim H, Selvig E, Risholt B, Time B, Georges L, et al. A Norwegian ZEB Definition: Embodied Emissions. Oslo: ZEB Project Report (17) SINTEF Academic Press 2014.
12. Fufa SM, Dahl Schlanbusch R, Kari Sørnes, Inman M, Andresen I. A Norwegian ZEB Definition Guideline. Oslo: ZEB Project Report (29) SINTEF Academic Press; 2016.
13. Schlanbusch RD, Segtnan IL. bks 473.010. Nullutslippsbygninger (ZEB) Retningslinjer og beregningsmetoder. Oslo: SINTEF; forthcoming.
14. Wiik MK, Fufa SM, Kristjansdottir T, Andresen I. Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. Energy and Buildings. 2018;165:25-34.
15. SCIS. EU Smart Cities Information System online2017 [Available from: <http://smartcities-infosystem.eu/>].
16. Brattebø H, Skaar C, Lausset C. ZEN LCA report. Oslo; 2017.
17. Brattebø H, Skaar C, Lausset C. ZEN LCA guideline. Oslo; 2017.
18. Wolfgang O. European power market analyses to be carried out within FME ZEN 2017.
19. Ahlers D, Krogstie J. ZEN Data Management and Monitoring: Requirements and Architecture. Oslo; 2017.
20. Strasser H, Kimman J, Koch A, am Tinkhof OM, Müller D, Schiefelbein J, et al. IEA EBC Annex 63–Implementation of Energy Strategies in Communities. Energy and Buildings. 2017.
21. ISO 37100:2016. Sustainable cities and communities -- Vocabulary. International Organization for Standardization; 2016.
22. United Nations General Assembly. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development online: United Nations; 2015 [Available from: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)].
23. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; . 2013.
24. NS-EN 15643-1:2010. Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework. Standard Norge; 2010.

25. NS-EN 15978. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode / Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method European Committee for Standardization, Brussels, Belgium; 2011.
26. prNS 3720. Metode for klimagassberegninger for bygninger / Method for greenhouse gas calculations for buildings. forthcoming. Standard Norge; 201x.
27. NS 3451: 2009. Bygningsdelstabell / Table of Building Elements. Oslo, Norway: Standard Norge; 2009.
28. Fufa SM, Wiik, M. R. K., Mellegård, S. Lessons learnt from the design and construction strategies of two Norwegian low emission construction sites. IOP Conference Series Earth Environ Sci 352 0110022019.
29. Norge S. NS 3457-3: 2013 Klassifikasjon av byggverk – Del 3 Bygningstyper. Oslo: Standard Norge; 2013
30. SN/TS 3031. Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning / Energy performance of buildings - Calculation of energy needs and energy supply Standards Norway, Oslo, Norway; 2016.
31. ISO 52000-1:2017. Energy performance of buildings -- Overarching EPB assessment -- Part 1: General framework and procedures. International Organization for Standardization; 2017.
32. IEA EBC. IEA Solar Heating and Cooling (Task 40). EBC Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings online: EBC; 2014 [Available from: <https://iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=52>]
33. IEA EBC. EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings online: EBC; 2014 [Available from: <http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-67/>  
<http://www.annex67.org/>]
34. NS-EN 16258. Metode for beregning av og deklarerer av energiforbruk og klimagassutslipp for transporttjenester (vare- og persontransport) / Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers). Standard Norge, Oslo, Norway; 2012.
35. NS 3454. Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifikasjon / Life cycle costs for construction works - Principles and classification Standard Norge, Oslo, Norway; 2013.
36. NS-EN 16627. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon - Beregningsmetoder / Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods. Standard Norge, Oslo, Norway; 2015.
37. ISO 15686-5: 2017. Building and construction assets - service life planning. Part 5: Life-cycle costing. Switzerland: International Standard Organisation; 2017. p. 44.
38. Norconsult Informasjonssystemer AS, Bygganalyse AS. Norsk prisbok. Sandvika: Norconsult Informasjonssystemer AS; 2017.
39. Fong WK, Sotos M, Doust M, Schultz S, Marques A, Deng-Beck C. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities USA: World Resources Institute; 2014 [
40. Wolfgang O. European power market analyses to be carried out within FME ZEN 2017
41. M. K. Wiik ES, M. Fuglseth, E. Resch, C. Lausset, I. Andresen, H. Brattebø, U. Hahn. Klimagasskrav til materialbruk i bygninger - Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. FME ZEN; 2020.
42. European Commission. Energy union and climate. Making energy more secure, affordable and sustainable online 2017 [Available from: [https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_en](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en)].
43. SETIS. Strategic Energy Technologies Information System online 2017 [Available from: <https://setis.ec.europa.eu/>].
44. Vibeke Nenseth, Petter Christiansen, May Hald. Sustainable urban mobility indicators - relationships and comparisons. Report nr 1210/2012. ISBN 978-82-480-1351-8. Institute of Transport Economics (TØI); 2012.
45. Benevolo C, Dameri R, D'Auria B. Smart Mobility in Smart City. Action taxonomy, ICT intensity and public benefits 2016. 13-28 p.



46. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland; 2014.
47. al Gse. Värdeskapande stadsutveckling - Värdering av stadskvaliteter för bostäder, kontor och handel i Göteborgsregionen. 2016.
48. landsting Sl. Värdering av stadskvaliteter i Stockholmsregionen. 2010.
49. Legeby A. Patterns of co-presence: Spatial configuration and social segregation. USAB: Royal Institute of Technology; 2013.
50. Kvellheim AK. Innovasjonsrapport 2020. FME ZEN; 2020.
51. Wiik MRK, Fufa, S. M., Andresen, I., Brattebø, H., Gustavsen, A. A Norwegian zero emission neighbourhood (ZEN) definition and a ZEN key performance indicator (KPI) tool. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. 2019.
52. Aoife Houlihan Wiberg DB. ZEN Toolbox - First concept for the ZEN Toolbox for use in the development of Zero Emission Neighbourhoods version 1.0. FEM ZEN; 2018.
53. Resch E. AI. A database tool for systematic analysis of embodied emissions in buildings and neighbourhoods Buildings. 2018.

## APPENDIX A: Life cycle modules in accordance with NS 3720



## APPENDIX B: Translation of some of the main terminology used in the ZEN definition report from English to Norwegian

zero emission neighbourhood – nullutslippsområde

key performance indicator – nøkkelindikator

Assessment criteria – vurderingskriteria

ZEN KPI tool – ZEN KPI verktøy

### category – kategori

GHG emissions – klimagassutslipp

energy – energi

power - effekt

mobility – mobilitet

economy – økonomi

spatial qualities – stedskvaliteter

innovation – innovasjon

reference project – referanseprosjekt

phase of development – utbyggingstrinn

project phases - prosjektfaser

planning phases – planleggingsfaser

brief and preparation phase - programmering

early design phase – skisseprosjekt/forprosjekt

detailed design phase – detaljprosjektering/bygging

as built phase – som bygget/overtakelse

operational phase (annually) – driftsfase (årlig)

## Sammendrag

Denne rapporten beskriver definisjonen, nøkkelindikatorer og vurderingskriterier som benyttes i forskningssenteret for nullutslippsområde i smarte byer (ZEN senteret). Denne andre utgaven av ZEN definisjonen bygger på versjon v.1.0 av ZEN definisjonen (1). ZEN kategoriene klimagassutslipp, energi og effekt er oppdatert etter å ha blitt testet ut i forskjellige piloter. I tillegg er det lagt til en beskrivelse av ZEN KPI verktøyet og rammeverket. Videre er ZEN kategoriene mobilitet, steds kvaliteter, økonomi og innovasjon blitt delvis oppdatert. Til sammen har over 100 eksperter fra ZEN senteret bidratt til dette dokumentet. Rapporten foreligger både på engelsk og norsk.

### ZEN Definisjon

Forskningssenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN) definerer et "område" som en samling bygninger med tilhørende infrastruktur <sup>1)</sup>, lokalisert innenfor et avgrenset geografisk område <sup>2)</sup>. Et **nullutslippsområde** har som målsetning å redusere sine direkte og indirekte **utslipp av klimagassutslipp** mot null innenfor sin analyseperiode <sup>3)</sup>, i tråd med et **valgt ambisjonsnivå** med hensyn til hvilke livsløpsmoduler og bygnings- og infrastrukturelementer som inkluderes <sup>4)</sup>. Området bør ha fokus på følgende, der de fire første punktene har direkte konsekvens for energi og utslipp:

- a. Planlegging, design og drift av bygninger og deres tilhørende infrastruktur komponenter med sikte på **null klimagassutslipp** over livsløpet.
- b. Oppnåelse av høy **energieffektivitet** og en høy andel av **ny fornybar energi** i områdets forsyningssystem for energi.
- c. Smart styring av energiflyten i området (i bygg og mellom bygg) og av utvekslinger med det omkringliggende energisystemet, som sikrer **fleksibilitet** <sup>5)</sup>.
- d. Fremme **bærekraftige transportmønstre** og smarte mobilitetssystemer.
- e. Planlegging, design og drift med hensyn på **økonomisk bærekraft**, ved minimerte levetidskostnader.
- f. Arealplanlegging sikrer gode **steds kvaliteter** og stimulerer bærekraftig atferd.
- g. Utviklingen av området er preget av innovative prosesser som benytter nye former av samarbeid mellom de involverte aktører som fører til **innovative løsninger**.

<sup>1)</sup> Bygninger kan være av ulike typer, f.eks. nye, eksisterende, energioppgraderte eller en kombinasjon. Infrastruktur inkluderer nettverk og teknologier for utveksling, produksjon og lagring av elektrisitet og varme. Infrastruktur kan eventuelt også inkludere nettverk og teknologier for vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT.

<sup>2)</sup> Området har en definert fysisk grense til eksterne nettverk (elektrisitet og varme, og hvis inkludert, vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT). Systemgrensen for vurdering av energianlegg som betjener området er derimot ikke nødvendigvis lik den geografiske områdeavgrensningen.

<sup>3)</sup> Analyseperioden er normalt 60 år, der det antas 60 år levetid for bygning og 100 år for infrastruktur, samt relevant levetid for komponenter som skiftes ut.

<sup>4)</sup> Standarden NS-EN 15978 "Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøprestasjon – Beregningsmetode" og den foreslåtte nye standarden NS 3720 "Metode for klimagassberegninger for bygninger", definerer et sett av livsløpsmoduler; produkter (A1-A3), gjennomføringsfase (A4-A5), bruksfase (B1-B7 i NS-EN 15978 og B1-B8 i NS 3720), livsløpets slutfase (C1-C4), og fordeler og ulemper utover systemgrensen (D). NS 3451 "Bygningsdelstabell" fastlegger inndeling i bygnings- og installasjonsdeler for systematisering, klassifisering og koding av informasjon som omfatter de fysiske delene av bygningen og de tilhørende utvendige anlegg. Et gitt ZEN-prosjekt bør ha et definert ambisjonsnivå med hensyn til hvilke av disse livsløpsmodulene som inkluderes, og hvilke infrastrukturelementer som inkluderes. Det er opp til eieren av et ZEN prosjekt å beslutte slikt ambisjonsnivå, men dette bør være entydig definert i henhold til modulprinsippet i NS-EN 15978 og NS 3720. I FME-ZEN senteret arbeides det videre med avklaringer om hva som bør være anbefalt minimumsambisjonsnivå for ZEN pilotprosjekter. Det arbeides også videre med å avklare hvordan beregne CO<sub>2</sub>-utslippsgevinster av lokal fornybar energiproduksjon, og FME-ZEN binder seg per i dag ikke til metodikken for utslippsberegninger i NS-EN 15978 og NS 3720.

<sup>5)</sup> Fleksibilitet bør legge til rette for overgangen til et utslippsfritt energisystem og reduksjon av effektbehov.

## Abstract

This document outlines the definition, key performance indicators (KPI) and assessment criteria for the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN research centre). This second version of the ZEN definition builds upon version v.1.0 of the ZEN definition (1). The ZEN categories for GHG emission, energy and power has been updated after tested in different pilots. In addition, a description of ZEN KPI tool and framework has been added. Furthermore, the ZEN categories mobility, spatial qualities, economy and innovation have been partly updated. Over 100 people involved in the ZEN research centre have contributed to this document.

### ZEN Definition

In the ZEN research centre, a neighbourhood is defined as a group of interconnected buildings with associated infrastructure <sup>1)</sup>, located within a confined geographical area <sup>2)</sup>. A **zero emission neighbourhood** aims to reduce its direct and indirect **greenhouse gas (GHG) emissions** towards zero over the analysis period <sup>3)</sup>, in line with a **chosen ambition level** with respect to which life cycle modules and building and infrastructure elements to include <sup>4)</sup>. The neighbourhood should focus the following, where the first four points have direct consequences for energy and emissions:

- h. Plan, design and operate buildings and associated infrastructure components towards zero life cycle **GHG emissions**.
- i. Become highly **energy efficient** and powered by a high share of new **renewable energy** in the neighbourhood energy supply system.
- j. Manage energy flows (within and between buildings) and exchanges with the surrounding energy system in a smart and **flexible** way <sup>5)</sup>.
- k. Promote sustainable transport patterns and smart mobility systems.
- l. Plan, design and operate with respect to **economic sustainability**, by minimising total life cycle costs.
- m. Plan and locate amenities in the neighbourhood to provide good **spatial qualities** and stimulate **sustainable behaviour**.
- n. Development of the area is characterised by innovative processes based on new forms of cooperation between the involved partners leading to **innovative solutions**.

<sup>1)</sup> Buildings can be of different types, e.g. new, existing, retrofitted or a combination. Infrastructure includes grids and technologies for exchange, generation and storage of electricity and heat. Infrastructure may also include grids and technologies for water, sewage, waste, mobility and ICT.

<sup>2)</sup> The area has a defined physical boundary to external grids (electricity and heat, and if included, water, sewage, waste, mobility and ICT). However, the system boundary for analysis of energy facilities serving the neighbourhood is not necessarily the same as the geographical area.

<sup>3)</sup> The analysis period is normally 60 years into the future, assuming 60 years service life of buildings and 100 years service life of infrastructure, and relevant service life for components that will be replaced.

<sup>4)</sup> The standard NS-EN 15978 "Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method" and the proposed new standard NS 3720 "Methods for greenhouse gas calculations for buildings", defines a set of life cycle modules; material production (A1-A3), construction (A4-A5), operation (B1-B7 in NS-EN 15978 and B1-B8 in NS 3720), end-of-life (C1-C4), and benefits and loads beyond the system boundary (D). NS 3451 "Table of building elements" provides a structured nomenclature checklist of building elements which can be used to define the physical system boundary. A given zero emission neighbourhood should have a defined ambition level with respect to which of these life cycle modules to include, and which building and infrastructure elements to include. It is up to the owner of a ZEN project to decide such an ambition level, but this should be unambiguously defined according to the modulus principle of NS-EN 15978 and NS 3720. In the FME-ZEN Centre, further work is carried out to clarify what should be the recommended minimum ambition level for ZEN pilot projects. Further work is done to clarify how to calculate CO<sub>2</sub> emission gains from local renewable energy production, and the FME-ZEN does not currently bind to the method of emission calculations in NS-EN 15978 and NS 3720.

<sup>5)</sup> Flexibility should facilitate the transition to a decarbonised energy system and reduction of power and heat capacity requirements.

# 1 Introduksjon

## 1.1 Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN-senteret)

Dette dokumentet beskriver definisjonen av et nullutslippsområde, samt nøkkelindikatorer og vurderingskriterier som brukes i forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN-senteret). Denne andre versjonen (versjon 2.0) av ZEN-definisjonen bygger på den forrige versjonen av ZEN definisjonen (1). ZEN kategoriene for klimagassutslipp, energi og effekt er oppdatert etter å ha blitt testet ut i pilotprosjektene. I tillegg er det lagt til en beskrivelse av ZEN KPI verktøy og rammeverk. ZEN kategoriene mobilitet, stedskvaliteter, økonomi og innovasjon har blitt delvis oppdatert. Over 100 personer fra ZEN-senteret har bidratt til utviklingen av dette dokumentet.

Formålet for forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (2) er å besvare følgende forskningsspørsmål:

### **Hvordan skal fremtidens bærekraftige områder utformes, bygges, transformeres og styres for å redusere utslippene av klimagasser mot null?**

I forskningssøknaden for ZEN-senteret ble det gitt en foreløpig beskrivelse av et nullutslippsområde:

"Et utvalg av sammenkoblede bygninger med distribuerte energiresurser som solenergisystemer, elektriske kjøretøyer, ladestasjoner og varmesystemer, som ligger innenfor et avgrenset geografisk område og med en veldefinert fysisk grense for elektriske og termiske nett. Området skal ikke sees som en selvstendig enhet; det er knyttet til den omkringliggende mobilitets- og energiinfrastrukturen, og området skal optimaliseres i forhold til omkringliggende by- og samfunnsstrukturer. "

Selv om denne foreløpige beskrivelsen primært er fokusert på energiaspekter, er begrepet nullutslippsområde også knyttet til andre aspekter som klimagassutslipp (KGU), energi, (ENE) effekt (EFF), mobilitet (MOB), økonomi (ØKO), stedskvaliteter (KVA) og innovasjonsaspekter (INN). Denne rapporten er oppdatert for kategoriene klimagassutslipp, energi og effekt. En påfølgende rapport (versjon 3.0) vil også gi en detaljert beskrivelse av kategoriene mobilitet, økonomi, stedskvaliteter og innovasjon.

Vi har hentet inspirasjon fra en rekke kilder når vi har definert konseptet *nullutslippsområde*, inkludert arbeid med andre lignende definisjoner og konsepter fra hele Europa og spesielt i Norge. Noen av disse kildene er:

- FME-ZEB – The Research Centre on Zero Emission Buildings (3)
- Forskningsprosjektet PI-SEC – Planning Instruments for Smart Energy Communities (4)
- Horizon 2020 – Smart Cities and Communities (5, 6)
- PEB-definisjonen – Positive Energy Blocks in Horizon 2020 (7)
- Miljøsertifiseringsverktøyet BREEAM Communities (8)
- Forskningsprosjektet CITYKeys (9)
- Relevante nasjonale og internasjonale standarder

Kildene er beskrevet i kapittel 2 Bakgrunn, og ytterligere informasjon finnes i rapporten som beskriver retningslinjer for pilotprosjekter i ZEN (10) I tillegg har vi organisert en rekke ZEN partnerworkshops i 2019/2020 om følgende underemner:

- Energi (16 september 2019)
- Effekt (16 september 2019)
- Felles workshoper: klimagassutslipp og mobilitet; energi og mobilitet

I tillegg er flere av KPIene blitt testet ut på ZEN pilotområder. For noen pilotområder har ZEN kategoriene blitt testet ut, men de spesifikke KPIene er ikke evaluert (indikert med (x) i Tabell 1).

**Tabell 1. Oversikt over uttesting av KPIene i ZEN pilotområdene**

	<b>KGU</b>	<b>ENE</b>	<b>EFF</b>	<b>MOB</b>	<b>ØKO</b>	<b>KVA</b>	<b>INN</b>
Bodø		x				(x)	
NTNU	(x)						
Sluppen (Nidarvoll)	x	x	x			(x)	
Mære	x	x					
Flytårnet		x	x			(x)	
Oksenøya		x	x			(x)	
Ydalir	x	x	x	(x)		(x)	
Evenstad		x	x				
Furuset		x	x				
ZVB		x	x	(x)			

## 1.2 Denne rapporten

En oppsummering av de største endringene i denne versjonen av ZEN definisjonsrapporten er:

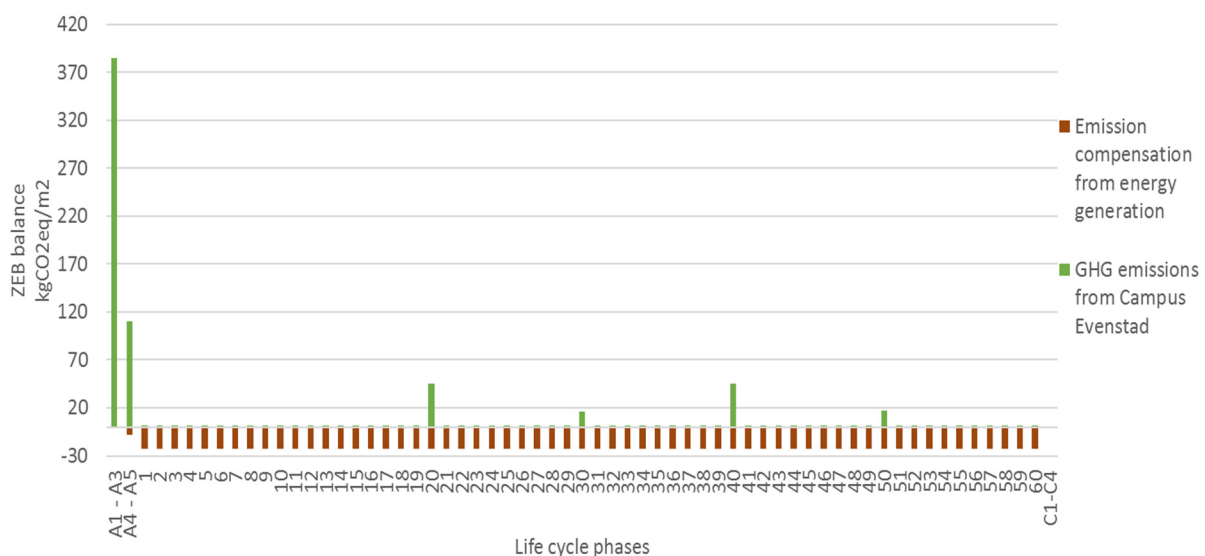
- I denne versjonen av ZEN definisjonsrapporten (v.2.0) er klimagassutslipp (KGU), energi (ENE) og effekt (EFF) kategoriene blitt videre utviklet og raffinert gjennom empirisk forskning og iterativ testing i ZEN pilotområdene.
- Tabell 2: ZEN-vurderingskriterier og nøkkelindikatorer (KPI) er revidert.
- Mindre justeringer for kategoriene mobilitet (MOB), økonomi (ØKO), stedskvaliteter (KVA) og innovasjon (INN) er gjennomført.
- Nytt kapittel på ZEN KPI verktøy og rammeverk er inkludert.

I de påfølgende kapitlene presenteres bakgrunnen for ZEN-definisjonen (kapittel 2), selve ZEN-definisjonen (kapittel 3), en sammenstilling av nøkkelindikatorer og vurderingskriteriene som inngår i ZEN-definisjonen (kapittel 4). ZEN KPI verktøyet og rammeverket blir beskrevet (kapittel 5) og en oversikt over begrensninger samt muligheter for videre arbeid (kapittel 6).

## 2 Bakgrunn

### 2.1 The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB-senteret)

ZEB-senteret var et forskningscenter for miljøvennlig energi (FME) i perioden 2009-2017. I ZEB-senteret ble det utviklet en metodikk for måling og rapportering av klimagassutslipp, målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/år), for energibruk i drift (O), materialbruk i bygget (M), byggefasen (C), bruksfasen ut over energi- og materialbruk (PLET) og bygningens slutfase (E) (11), (12), (13). For å nå nullambisjonen skal disse utslippene kompenseres gjennom lokal fornybar energiproduksjon. For hvert ZEB-pilotprosjekt ble det definert et ZEB-ambisjonsnivå, basert på hvilke faser som ble inkludert innenfor systemgrensene. For eksempel forutsetter ambisjonsnivået ZEB-COM at bygningen skal produsere nok lokal fornybar energi til å kompensere for alle klimagassutslipp fra byggefasen (C), energibruk i drift (O) og materialbruk (M). En mer detaljert beskrivelse av ZEB-definisjonen og metodikken finnes i ZEB-rapport nr. 17, ZEB-rapport nr. 29 og Byggforskserien 473.010 om nullutslippsbygninger (11), (12), (13). Figur 1 viser hvordan klimagassutslippene utvikler seg over tid for pilotprosjektet ZEB Campus Evenstads utdannings- og administrasjonsbygning i et 60-årsperspektiv. Resultatene viser at en stor andel av utslippene oppstår i produksjonsfasen og byggefasen, mens det er lave årlige klimagassutslipp fra driftsfasen på grunn av energieffektive løsninger og lavt utslipp fra energikildene. Kompensasjon av klimagassutslippene med lokal fornybar energiproduksjon gir også årlige utslag. Videre ser vi at det er en økning i klimagassutslippene etter 20, 30 og 40 år. Dette skyldes utskiftning av bygningsdeler i byggets levetid. Campus Evenstad er også et pilotområde i ZEN-senteret.



**Figur 1.** Årlige klimagassutslipp (grønt) og kompenserte utslipp (rødt) fra undervisnings- og administrasjonsbygningen på Campus Evenstad over en tidsperiode på 60 år (14).

### 2.2 Planning Instruments for Smart Energy Communities (PI-SEC)

PI-SEC (Planning instruments for smart energy communities) er et norsk forskningsprosjekt som går fra 2016-2019, hvor hovedleveransen vil være en verktøykasse som skal møte behovene både i forbindelse med kommunal planlegging (ovenfra-ned) og i prosjektplanlegging og byggefase (nedenfra-opp). På kommuneplanleggingsnivå er det viktig å forstå praksisen til byplanleggerne, slik at energibruk kan bli en integrert del av planleggingen. På prosjektplanleggings- og byggefasenivå



skal verktøykassen bidra til økt kunnskap om hvilke parametere eller nøkkelindikatorer (KPIer) som er viktige for smarte og bærekraftige byer (4). Det er en utfordring å koble nøkkelindikatorer på bygningsnivå med områdekriterier. Dette krever en kombinasjon av kvantitative og kvalitative nøkkelindikatorer og vurderingskriterier. Verktøyet for kommunal planlegging er basert på planleggingshjul som metode, mens det for prosjektplanleggings- og byggefase utvikles et indikatorverktøy som kan brukes til å definere mål. Basert på dette undersøker PI-SEC spesielt klimagassreduksjon, økt energieffektivitet, økt bruk av fornybare energiresurser, økt bruk av lokale energikilder og grønn mobilitet. PI-SEC identifiserer 21 nøkkelindikatorer (KPIer) gjennom en tverrfaglig tilnærming på alle nivåer (bygning, nabolag, by, region, nasjon). To ZEN-pilotområder er testarenaer i PI-SEC; Zero Village Bergen og Furuset (4).

### 2.3 Smart Cities and Communities (SCC)

Smart Cities & Communities (H2020 SCC) er et Horizon 2020-arbeidsprogram som adresserer underkategorien 'sikker, ren og effektiv energi' under hovedkategorien 'samfunnsutfordringer' (7). Den overordnede målsettingen er å løse utfordringen med bærekraftig utvikling i byområder. Det fokuseres på nye, effektive og brukervennlige teknologier og tjenester innen energi, transport og IKT. Arbeidsprogrammet fremhever også behovet for integrerte tilnærminger innen forskning, utvikling og anvendelse.

SCC-programmet har en serie forbildeprosjekter (12 aktive prosjekter siden 2015), hvor forbildeprosjektene tar utgangspunkt i problemstillinger som er særskilte for byer. Det skal frembringes storskala-løsninger basert på integrerte og svært effektive kommersielle løsninger med stort markedspotensial. Utbredelsen av forbildeprosjekter skal oppmuntre til å reprodusere løsningene og utbredelse av ny teknologi (5, 6). Parallelt med dette arbeides det med å opprette en rapporteringsplattform og database for Smart Cities Information System (SCIS) (15), i tillegg til nøkkelindikatorer utviklet i H2020-prosjektet CITYkeys (9).

En rekke aspekter som er viktige for ZEN-senteret er også vurdert i SSC, som gjør at SSC er en god sammenligning med ZEN-senteret i et europeisk perspektiv. Dette inkluderer aspekter som:

- Utvikling, testing og ytelsesovervåking
- Bærekraftig overgang til ren energi
- Økt integrasjon av energisystemer og strengere krav til energiytelse
- Integrerte og nyskapende løsninger for plusskvartaler og plussområder
- Integrere innovative løsninger for plussområder (*positive energy blocks and districts*)
- Analysere samspill og integrering mellom bygninger, brukere og energisystemer
- Energilagring og elektromobilitet
- Integrert planlegging og flerbruksområder i byer
- Gjenskape løsninger med lokal tilpasning
- Reduserte klimagassutslipp og dekarbonisering
- Forbedret energieffektivitet, lagring, integrasjon og egenforbruk
- Støtte klimareduksjon og klimatilpasning
- Undersøke urbane, tekniske, økonomiske, reguleringsmessige, kjønnsmessige, sosioøkonomi og sosiale aspekter
- Utvikle nye forretningsmodeller
- Harmonisere indikatorer med mål på byplan, oppskalering til bynivå
- Inkludere lokalsamfunn og lokaldemokrati

- Forbedret luftkvalitet
- Stordata (big data), datahåndtering, digitalisering, datasikkerhet, datavern

## 2.4 Positive Energy Blocks (PEB)

Horizon 2020-arbeidsprogrammet fastslår at for å oppnå en nødvendig overgang til ren energi i byer, så må energisystemene integreres, energikravene strammes inn betydelig i forhold til dagens krav, samt plussområder (positive energy blocks) må realiseres over hele Europa innen 2050.

Arbeidsprogrammet gir følgende definisjon for plussområder (7):

"Positive Energy Blocks [and] Districts consist of several buildings (new, retro-fitted or a combination of both) that actively manage their energy consumption and the energy flow between them and the wider energy system. Positive Energy Blocks [and] Districts have an annual positive energy balance. They make optimal use of elements such as advanced materials, local [renewable energy sources] RES, local storage, smart energy grids, demand-response, cutting edge energy management (e.g. electricity, heating and cooling), user interaction [or] involvement and ICT. Positive Energy Blocks [and] Districts are designed to be an integral part of the district [or] city energy system and have a positive impact on it. Their design is intrinsically scalable and they are well embedded in the spatial, economic, technical, environmental and social context of the project site."

*"Plussområder er kvartaler og områder som består av flere bygninger (nye, oppgraderte, eller en kombinasjon) som aktivt styrer egen energibruk og energiflyten mellom området og det omkringliggende energisystemet. Plussområder har netto eksport av energi over året. De har optimal bruk av elementer som avanserte materialer, lokal fornybar energiproduksjon, lokal lagring, smarte nett, behovsstyring, banebrytende energistyring (f.eks. elektrisk, varme, kjøling), brukermedvirkning og IKT. Plussområder er designet for å være en positiv og integrert del av området eller byens energisystem. Løsningene er utformet med egenskaper som gjør dem skalerbare og godt integrert i prosjektets kontekst med tanke på stedskvaliteter, økonomi, teknologi, miljø og sosiale forhold." (egen oversettelse)*

## 2.5 BREEAM Communities

BREEAM Communities er et sertifiseringsverktøy for bærekraftige nabolag. Det er utviklet i Storbritannia og senere også anvendt i Norge. Det kan benyttes til å måle og forbedre sosiale, miljømessige og økonomiske aspekter i et område (8). BREEAM Communities bør ikke forveksles med BREEAM-NOR, som er en sertifisering for bygninger. BREEAM Communities kan brukes av planleggere, lokale politikere, lokalsamfunn og andre offentlige aktører. BREEAM Communities gir et helhetlig rammeverk for vurdering av bærekraftskriterier i et tidlig stadium av designprosessen. Verktøyet er utviklet spesielt for prosjekter som vil ha betydelig påvirkning på fremtidige eller eksisterende samfunn og infrastrukturer. BREEAM Communities-metodikken vurderer nabolag både kvantitativt og kvalitativt.

## 2.6 CITYkeys

CITYkeys-prosjektet (9) skal støtte utviklingen av løsninger og tjenester for smarte byer, for å kunne påvirke presserende samfunnsmessige utfordringer knyttet til kontinuerlig vekst og fortetting av byer,

samt bidra til å nå EUs energi- og klimamål. Det overordnede målet med dette toårige prosjektet er å utvikle og validere nøkkelindikatorer og ulike metoder for datainnsamling for både transparent overvåkning og for å kunne sammenligne smartby-løsninger i ulike europeiske byer. Prosjektet har valgt nøkkelindikatorer for smarte byer som kan benyttes både på prosjekt- og bynivå [8].

## 2.7 Relevante nasjonale og internasjonale standarder

Et bredt utvalg av nasjonale og internasjonale standarder som er relevante for en ZEN-definisjon har blitt identifisert, og dermed også implementert i rammeverket for ZEN-definisjonen. Disse er:

- NS-EN 15978: 2011. Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode.
- NS 3720: 2018. Metode for klimagassberegninger for bygninger.
- NS 3457-3: 2013. Klassifikasjon av byggverk - Del 3: Bygningstyper.
- NS 3451: 2009: Bygningsdeltabell.
- ISO 52000: 2017. Bygningers energiytelse - Overordnet vurdering av bygningers energiytelse - Del 1: Generelt rammeverk og prosedyrer.
- SN/TS 3031: 2016. Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning.
- NS 3454: 2013. Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifikasjon.
- NS-EN 16627: 2015. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon – Beregningsmetoder.
- ISO 15686-5: 2017. Building and construction assets - service life planning. Part 5: Life-cycle costing. (kun engelsk versjon)
- NS-EN 16258: 2012. Metode for beregning av og deklarerer av energiforbruk og klimagassutslipp for transporttjenester (vare- og persontransport).

## 3 Definisjoner

### 3.1 ZEN-definisjonen

Nedenfor er ZEN-definisjonen beskrevet, som skal være et overordnet og veiledende prinsipp for hele ZEN-prosjektet (2) og pilotområdene (10). Definisjonen er basert på tidligere prosjekt, eksisterende vurderingsmetoder (som ZEB-senteret, PI-SEC, SSC, PEB, BREEAM Communities og CITYkeys), samt innspill fra forskere og partnere i ZEN gjennom en rekke diskusjoner og workshops.

#### ZEN Definisjon

Forskningssenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN) definerer et "område" som en samling bygninger med tilhørende infrastruktur <sup>1)</sup>, lokalisert innenfor et avgrenset geografisk område <sup>2)</sup>. Et **nullutslippsområde** har som målsetning å redusere sine direkte og indirekte **klimagassutslipp** mot null innenfor sin analyseperiode <sup>3)</sup>, i tråd med et **valgt ambisjonsnivå** med hensyn til hvilke livsløpsmoduler og bygnings- og infrastrukturelementer som inkluderes <sup>4)</sup>. Området bør ha fokus på følgende, der de fire første punktene har direkte konsekvens for energi og utslipp:

- a. Planlegging, design og drift av bygninger og deres tilhørende infrastruktur komponenter med sikte på **null klimagassutslipp** over livsløpet.
- b. Oppnåelse av høy **energieffektivitet** og en høy andel av **ny fornybar energi** i områdets forsyningssystem for energi.
- c. Smart styring av energiflyten i området (i bygg og mellom bygg) og av utvekslinger med det omkringliggende energisystemet, som sikrer **fleksibilitet** <sup>5)</sup>.
- d. Fremme **bærekraftige transportmønstre** og smarte mobilitetssystemer.
- e. Planlegging, design og drift med hensyn på **økonomisk bærekraft**, ved minimerte levetidskostnader.
- f. Arealplanlegging sikrer gode **stedskvaliteter** og stimulerer bærekraftig atferd.
- g. Utviklingen av området er preget av innovative prosesser som benytter nye former av samarbeid mellom de involverte aktører som fører til **innovative løsninger**.

1) Bygninger kan være av ulike typer, f.eks. nye, eksisterende, energioppgraderte eller en kombinasjon. Infrastruktur inkluderer nettverk og teknologier for utveksling, produksjon og lagring av elektrisitet og varme. Infrastruktur kan eventuelt også inkludere nettverk og teknologier for vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT.

2) Området har en definert fysisk grense til eksterne nettverk (elektrisitet og varme, og hvis inkludert, vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT). Systemgrensen for vurdering av energianlegg som betjener området er derimot ikke nødvendigvis lik den geografiske områdeavgrensningen.

3) Analyseperioden er normalt 60 år, der det antas 60 år levetid for bygning og 100 år for infrastruktur, samt relevant levetid for komponenter som skiftes ut.

4) Standarden NS-EN 15978 "Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøprestasjon – Beregningsmetode" og den foreslåtte nye standarden NS 3720 "Metode for klimagassberegninger for bygninger", definerer et sett av livsløpsmoduler; produkter (A1-A3), gjennomføringsfase (A4-A5), bruksfase (B1-B7 i NS-EN 15978 og B1-B8 i NS 3720), livsløpets slutfase (C1-C4), og fordeler og ulemper utover systemgrensen (D). NS 3451 "Bygningsdelstabell" fastlegger inndeling i bygnings- og installasjonsdeler for systematisering, klassifisering og koding av informasjon som omfatter de fysiske delene av bygningen og de tilhørende utvendige anlegg. Et gitt ZEN-prosjekt bør ha et definert ambisjonsnivå med hensyn til hvilke av disse livsløpsmodulene som inkluderes, og hvilke infrastrukturelementer som inkluderes. Det er opp til eieren av et ZEN prosjekt å beslutte slikt ambisjonsnivå, men dette bør være entydig definert i henhold til modulprinsippet i NS-EN 15978 og NS 3720. I FME-ZEN senteret arbeides det videre med avklaringer om hva som bør være anbefalt minimumsambisjonsnivå for ZEN pilotprosjekter. Det arbeides også videre med å avklare hvordan beregne CO<sub>2</sub>-utslippsgevinster av lokal fornybar energiproduksjon, og FME-ZEN binder seg per i dag ikke til metodikken for utslippsberegninger i NS-EN 15978 og NS 3720.

5) Fleksibilitet bør legges til rette for overgangen til et utslippsfritt energisystem og reduksjon av effektbehov.

ZEN-definisjonen er av natur skalerbar, men den bør alltid tilpasses lokale forhold med tanke på steds-kvaliteter, økonomi, teknologi, miljø, styring/regulering og sosiale forhold. Se kapittel 3.2 for en mer detaljer diskusjon av kjernebegreper.

I tillegg må det være et klart definert sett av vurderingskriterier og nøkkelindikatorer for alle aspektene av ZEN-definisjonen. Disse må være definert slik at det er mulig å utvikle kvantitative og kvalitative metoder og verktøy som kan brukes til å vurdere status og framdrift for ZEN-pilotene opp mot ambisjonsnivået for klimagassutslipp. For å gjøre ZEN-definisjonen operativ vil retningslinjer utvikles og gjøres tilgjengelig (10), (16), (17), (18). Definisjon av vurderingskriterier og nøkkelindikatorer vil legge føringer for hvordan data måles og samles inn for datahåndteringsplattformen (19), (10).



Som en følge av dette omfatter ZEN-definisjonen sju kategorier, hvor hver kategori kan ha et sett med ett eller flere vurderingskriterier og for hvert av disse et sett med nøkkelindikatorer (KPIer):

- Klimagassutslipp (KGU)
- Energi (ENE)
- Effekt (EFF)
- Mobilitet (MOB)
- Økonomi (ØKO)
- Steds-kvaliteter (KVA)
- Innovasjon (INN)

Disse kategoriene har i en rekke workshops blitt identifisert som de viktigste kategoriene av ZEN-interessentene.

Figur 2. Syv kategorier i ZEN definisjonen

### 3.2 Andre begrep og definisjoner

ZEN-senteret benytter tverrfaglig kunnskap og erfaringer fra et bredt spekter av fagområder, og fra personer med ulik faglig bakgrunn. Det er derfor viktig å sikre at vi har en felles forståelse av noen av hovedbegrepene og definisjonene som brukes i denne ZEN-definisjonsrapporten.

**Vurderingskriterier** er krav som må oppfylles for at et område skal betraktes som miljømessig, sosialt og økonomisk bærekraftig og gjennomførbart (20). Vurderingskriterier kan være enten obligatoriske eller frivillige. Kriterier kan være avhengige av hverandre, slik at et kriterium må være oppfylt før det er mulig å oppfylle et annet. Det er vanligvis kvantitative nøkkelindikatorer (KPI) som benyttes for å måle kriterier, men noen kan være kvalitative.

**Nøkkelindikatorer (Key Performance Indicator, KPI)** er i ZEN-sammenheng et sett med tallfestede prestasjonsindikatorer som er basert på prosjektdata og som brukes til å måle hvor godt et område presterer. Nøkkelindikatorene kan brukes til å måle utviklingstrekk over tid eller til å sammenligne et område med andre lignende områder (4).

**ZEN beregninger:** Denne paraplybetegnelse dekker nøkkelverdiene for både vurderingskriteriene og nøkkelverdiene brukt i ZEN forskningssenteret.

**ZEN KPI verktøy:** KPI verktøyet skal hjelpe partnerne i å operasjonalisere ZEN definisjonen og visualisere resultatene fra alle ZEN kategoriene og KPIene. Verktøyet skal compilere informasjonen fra alle KPIene og presentere dette på en forståelig og oversiktlig måte.

**ZEN verktøykasse:** KPI verktøykassen er en samling av eksisterende verktøy som ZEN interessenter bruker for å beregne verdiene innenfor KPIene. Resultatene fra de forskjellige verktøyene vil være input inn i ZEN KPI verktøyet.

**Prosjektfaser** er de fasene av prosjektet som vurderes i ZEN-senteret: strategisk planleggingsfasen, implementeringsfasen, og i drift. En mer detaljert beskrivelse av disse fasene er inkludert i rapporten 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' (10). En norsk-engelsk oversettelse av fasene er vist i Vedlegg B.

**Bærekraft** er en tilstand hvor dagens behov tilfredsstilles på et globalt nivå uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstille sine behov, inkludert miljømessige, sosiale og økonomiske aspekter. Definisjonen er tilpasset fra ISO 37100 (21) og som spesifisert i FNs 17 bærekraftsmål (Sustainable Development Goals, SDG) og tilhørende 169 indikatorer (22).

Av disse 17 bærekraftsmålene kan ZEN-senteret spesielt kobles til:

- *SDG 3 – God helse:* Sikre god helse og fremme livskvalitet for alle, uansett alder
- *SDG 7 – Ren energi for alle:* Sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris for alle
- *SDG 8 – Anstendig arbeid og økonomisk vekst:* Fremme varig, inkluderende og bærekraftig økonomisk vekst, full sysselsetting og anstendig arbeid for alle
- *SDG 9 – Innovasjon og infrastruktur:* Bygge solid infrastruktur, fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og bidra til innovasjon
- *SDG 11 – Bærekraftige byer og samfunn:* Gjøre byer og bosettinger inkluderende, trygge, motstandsdyktige og bærekraftige
- *SDG 12 – Ansvarlig forbruk og produksjon:* Sikre bærekraftig forbruks- og produksjonsmønstre
- *SDG 13 – Stoppe klimaendringene:* Handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem
- *SDG 15 – Liv på land:* Beskytte, gjenopprette og fremme bærekraftig bruk av økosystemer, sikre bærekraftig skogforvaltning, bekjempe ørkenspredning, stanse og reversere landforringelse samt stanse tap av artsmangfold
- *SDG 17 – Samarbeid for å nå målene:* Styrke gjennomføringsmidlene og fornye globale partnerskap for bærekraftig utvikling

### **Kategorier**

**Klimagassutslipp (KGU)** refererer til utslipp av klimagasser (*greenhouse gases, GHG*) målt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter beregnet i et livsløpsperspektiv i henhold til IPCC AR5-rapporten (23). Direkte utslipp av klimagasser er utslipp hvor vår aktivitet også er kilden til utslippene. Indirekte utslipp er utslipp hvor vår aktivitet forårsaker utslipp et annet sted i verdikjeden (23). Hvis aktiviteten vår er å kjøre bil, så er de direkte utslippene det som kommer ut av eksosrøret, mens de indirekte utslippene

kommer fra oljeutvinning, oljetransport, raffinering av olje til drivstoff, transport til bensinstasjon, og så videre. Vi har også indirekte utslipp fra å produsere, bruke og avhende bilen.

**Energi (ENE)** er i fysikken definert som evne til å utføre arbeid, eller hvor mye arbeid som utføres over en tidsperiode. Matematisk er energi integralet av effekt over tid. I forhold til et energisystem (for eksempel strøm eller varme), er energi nettbelastningen over tid og måles i [kWh].

**Effekt (EFF)** er i fysikken definert som energiens momentanverdi, eller arbeid utført per tidsenhet. I et energisystem er effekt (f.eks. elektrisk effekt eller varmeeffekt) nettbelastningen målt i [kW]. Effekt brukes også om gjennomsnittsverdien for energi per time (timeseffekt), og måles da i [kWh/h]

**Mobilitet (MOB)** er i denne sammenhengen beboere og andre brukeres transportmønster innenfor og til/fra området. Ferier og varetransport er inkludert.

**Økonomi (ØKO)** er i denne sammenhengen økonomisk bærekraft, typisk uttrykt som livssyklus kostnader (*life cycle cost, LCC*) for bygninger, energi og annen infrastruktur innenfor området, i tillegg til total livssyklus kostnad for det omkringliggende energisystemet. Merk at noen økonomiske aspekter vil bli adressert i innovasjonskategorien.

**Stedskvaliteter (KVA)** referer i denne sammenheng til et nabolag som er tilkoblet, sammensatt og hvor man har tilgang til et mangfold av byattraksjoner. Det referer også til prosessen, dialogen og bruken av lokal kunnskap i planlegging og design.

**Innovasjon** er i ZEN-senteret bredt definert og viser til nytt eller forbedrede produkter, tjenester, prosesser, organisasjonsformer og forretningsmodeller som brukes til å oppnå verdiskaping eller nytteverdi for samfunnet. Innovasjon er nærmere definert og detaljert i en innovasjonsstrategi og -arbeidsplan.

### **Systemgrenser**

ZEN-senteret benytter tverrfaglig kunnskap og erfaringer fra et bredt spekter av fagområder, og fra personer med ulik faglig bakgrunn. Det er derfor viktig å sikre at vi alle har en felles forståelse av systemgrenser. Det ble først gjort en vurdering for å se om de samme systemgrensene kunne benyttes i alle ZEN-pilotområdene, på tvers av alle KPIer og kriterier og felles for bygninger, energi og annen infrastruktur. Det ble imidlertid fort klart at hver ZEN-kategori (klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, økonomi, stedskvaliteter og innovasjon) allerede har etablerte systemgrenser og metodikker med ulikt omfang. De ulike systemgrensene er utformet basert på metodologiske forutsetninger innen hvert fagfelt. For eksempel er materialene i eksisterende bygninger ikke inkludert i systemgrensen for klimagassutslipp for et bygg som skal rehabiliteres, siden dette regnes som en del av bygningens forrige livsløp. Men klimagassutslippene fra all energi- og materialbruk som brukes til renovering av bygningen er innenfor systemgrensene. Dette regnes som begynnelsen av et nytt livsløp for bygningen. Det er sannsynlig at klimagassutslippene fra energi- og materialer brukt til renovering vil være lavere enn klimagassutslippene fra et nybygg, siden deler av bygningskroppen kan gjenbrukes. Konsekvensen av metodevalg for klimagassutslipp er at systemgrensene for klimagassutslipp fremmer ombruk og resirkulering, altså en sirkulær økonomi. På den annen side så vil det være galt å utelukke energibehovet i eksisterende bygninger fra systemgrensen for energi. Derfor anerkjenner

ZEN-definisjonen at systemgrenser kan variere på tvers av ZEN-kategoriene og på tvers av ZEN-pilotområdene, og at systemgrensene kan variere avhengig av hvilket datagrunnlag som kreves for å utarbeide nøkkelindikatorerne (KPI). I denne rapporten definerer vi følgende terminologi som en del av ZEN-systemgrensene:

**Område:** Et utvalg sammenkoblede bygninger med tilhørende infrastruktur, innenfor et avgrenset geografisk område med en veldefinert fysisk grense. Bygningene kan være av forskjellig type, f.eks. ny/gammel/oppgradert eller en kombinasjon. Infrastruktur omfatter nett og teknologi for forsyning, produksjon, lagring og eksport av elektrisitet og varme, og kan også omfatte nett og teknologi for vann, avløp, avfall, mobilitet og IKT. Området har en veldefinert fysisk grense mellom intern og ekstern infrastruktur. Merk at systemgrensene for energisystemer ikke nødvendigvis er de samme som for det geografiske området. Systemgrensene er kontekstavhengige og kan derfor variere fra en ZEN-pilot til en annen.

**Systemgrense for bygningsvurdering:** Denne definerer hvilke bygningselementer som skal inngå i systembeskrivelsen for ZEN-pilotområdet. Hvilke bygningselementer som skal tas med kan variere avhengig av hvilken ZEN-kategori vi ser på, om det er klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, økonomi, stedskvaliteter eller innovasjon. Ytterligere informasjon om systemgrensene for bygningsvurdering finnes i (10), i kapitlene om klimagassutslipp, energi, effekt, økonomi, mobilitet og stedskvaliteter.

**Systemgrense for områdevurdering:** Denne definerer hvilke deler av området som skal inngå i systembeskrivelsen for ZEN-pilotområdet. Hvilke deler av området som skal tas med kan variere avhengig av hvilken ZEN-kategori vi ser på, om det er klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, økonomi, stedskvaliteter eller innovasjon. Ytterligere informasjon om systemgrensene for området finnes i (10), i kapitlene om klimagassutslipp, energi, effekt, økonomi, mobilitet og stedskvaliteter.

**Systemgrense for livsløpsvurdering:** Denne er basert på livsløpsvurdering (*life cycle assessment, LCA*) og er relevant for beregning av klimagassutslippene. Den er typisk bare referert til som 'systemgrensen'. Systemgrense for livsløpsvurdering definerer hva som er inkludert og hva som er ekskludert fra klimagassberegningene, og beskriver også omfanget av livsløpsvurderingen (tilpasset fra definisjonen i EN 15643 (24)). Hvilke livsløpsfaser som er inkludert i systemet kan defineres i henhold til modularitetsprinsippet i NS-EN 15978 (25) og NS 3720 (26) (se Vedlegg A), mens hvilke fysiske bygningsdeler som er inkludert i systemet kan defineres i henhold til NS 3451 (27) (bygningdeltabellen). I ZEN-senteret skal hele livsløpet være med, fra utvinning av råmaterialer, tilvirkning av produkt, transport, installasjon, bruk, vedlikehold, reparasjon, utskifting, energibruk i drift, vannbruk i drift, transport i drift, demontering, avfallsbehandling, samt gjenbruk og gjenvinning i en sirkulær økonomi.

Ytterlige detaljer er diskutert i rapporten 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' (10). En oversettelse fra norsk til engelsk av enkelte nøkkelbegrep finnes i Vedlegg B.

**Utslippsfri byggeplass:** er en byggeplass som ikke har direkte eller indirekte utslipp av klimagasser fra byggeplassaktivitetene. Elektrisk eller hydrogendrevne anleggsmaskiner, bruk av elektrisitet til oppvarming og tørking og bruk av nullutslippskjøretøy for til- og fratransport er noen eksempler på utslippsfrie alternativer (28).



**Fossilfri bygge- og anleggsplass:** er en byggeplass som ikke bruker fossilt brensel i noen av byggeplassaktivitetene. Fossilfri byggeplass bruker bioenergi, biodrivstoff eller alternative utslippsfrie fornybare energiressurser som elektrisitet og hydrogen (28).

## 4 ZEN-vurderingskriterier og nøkkelindikatorer

Utvalget av vurderingskriterier og nøkkelindikatorer (KPI), som vist i tabell 1, er utviklet basert på tidligere prosjekt, eksisterende vurderingsmetoder (som ZEB-senteret, PI-SEC, SSC, PEB, BREEAM Communities og CITYkeys), samt innspill fra forskere og partnere i ZEN gjennom en rekke diskusjoner og workshops. Kriteriene og KPIene ble identifisert og definert av eksperter innenfor hver kategori. Kriteriene og KPIene benytter eksisterende retningslinjer, rammeverk, standarder og referanser som fagfolk innenfor hvert av feltene allerede er kjent med. Kriteriene og KPIene vil bli brukt til å måle, forstå og validere framdrift og prestasjon i ZEN-pilotområdene, og kan også brukes utenfor ZEN-senteret til å kvantifisere og vurdere prestasjonen for andre områder. Kriteriene og KPIene er gruppert i syv kategorier: klimagassutslipp (KGU), energi (ENE), effekt (EFF), mobilitet (MOB), økonomi (ØKO), stedskvaliteter (KVA) og innovasjon (INN). Hver kategori har 1-3 vurderingskriterier og for hver av disse er det et sett nøkkelindikatorer (KPIer). Ikke alle KPIene kan måles i alle faser av et prosjekt (strategisk planleggingsfasen, implementeringsfasen, og i drift), derfor inneholder Tabell 2 en oversikt over prosjektfasene som kriteriene og KPIene kan benyttes i.

Gjennom en rekke ZEN-workshops har ZEN-partnerne lagt vekt på hvor viktig det er å ha klart definerte systemgrenser, og de har identifisert behov for både en 'systemgrense for bygningsvurdering' og en 'systemgrense for områdevurdering'. Disse systemgrensene kan benyttes på tvers av ZEN-kategoriene og tilhørende vurderingskriterier og nøkkelindikatorer, og de kan variere avhengig av behov og krav i de ulike ZEN-kategoriene. På grunn av dette vil det for hvert kriterium og hver nøkkelindikator opplyses om den er relevant på et bygningsnivå (*building, B*), på et områdenivå (*neighbourhood, N*) eller begge deler (*BN*).

I denne ZEN-definisjonsrapporten er vurderingskriterier og nøkkelindikatorer vist i Tabell 2. Når kravene for hvordan å beregne KPI'ene er satt er det brukt metodisk og organisatorisk modenhet ved å sette enten (i rekkefølge etter hierarki):

1. Ytelsesmål f.eks.  $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2/\text{yr}$
2. Reduksjonsmål f.eks. %
3. Informasjonsmål f.eks. LCA deklarasjon eller bruk av EPD'er
4. Beskrivende mål f.eks. tømmerstruktur

Hvordan kriteriene og nøkkelindikatorerne skal måles og tallfestes i ZEN-pilotprosjektene er ytterligere forklart i rapporten 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10).

Tabell 2. ZEN-vurderingskriterier og nøkkelindikatorer (KPI)

Kategori	Vurderingskriterier	Nøkkelindikatorer (KPI)	Enhet	Bygningsnivå (B), områdenivå (N) eller begge deler (BN)	Standarder og referanser	Strategisk planleggingsfase	Implementeringsfase	Driftsfase
KGU	Reduksjon	KGU1.1 Material (A1-A3, B4)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN	NS-EN 15978 (25), NS 3720 (26), NS 3457-3 (29), NS 3451 (27)	x	x	x
		KGU1.2 Utslippsfri byggefase (A4-A5)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
		KGU1.3 Miljøledelsesplan (B1-B3, B5)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
		KGU1.4 Energibruk i drift (B6)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
		KGU1.5 Transport i drift (B8)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
		KGU1.6 Sirkulære nabolag (C1-C4)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
	Kompensasjon	KGU1.7 Fordeler og konsekvenser (D)	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	BN		x	x	x
ENE	Energieffektivitet i bygninger	ENE2.1 Energibehov i bygg	kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år	B	SN/TS 3031 (30), ISO 52000 (31)	x	x	x
	Energibærer	ENE2.2 Levert og eksportert energi	kWh/år	BN	SN/TS 3031 (30), ISO 52000 (31), IEA EBC Annex 52 (32), ZEN research centre (2)	x	x	x
		ENE2.3 Egetforbruk og egenproduksjon av lokal fornybar energiproduksjon	%	BN		x	x	x

Kategori	Vurderingskriterier	Nøkkelindikatorer (KPI)	Enhet	Bygningsnivå (B), områdenivå (N) eller begge deler (BN)	Standarder og referanser	Strategisk planleggingsfase	Implementeringsfase	Driftsfase
EFF	Effektytelse	EFF3.1 Maksimal last	kW	BN	Engineering praxis, ZEN research centre (2) IEA EBC Annex 67 (33)	x	x	x
		EFF3.2 Maksimal eksport	kW	BN		x	x	x
		EFF3.3 Utnyttelsesfaktor	%	BN		x	x	x
		EFF3.4 Effektfleksibilitet				x	x	x
MOB*	Transportmåte	MOB4.1 Grønn mobilitet	% andel	N	NS-EN 16258 (34), NS 3720 (26), CityKEYS 3.2.3 (9) BREEAM Communities TM01, TM04, TM06 (8)	x	x	x
	Tilgang	MOB4.2 Tilgang til kollektivtransport og bysentrum	Meter	N		x	x	x
		MOB4.3 Bileierskap		N		x	x	x
		MOB4.4 Parkering utenfor gaten		N		x	x	x
ØKO*	Livssyklus kostnader (life cycle cost (LCC))	ØKO6.1 Livssyklus kostnader (LCC)	NOK  NOK/m <sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år  NOK/m <sup>2</sup> annet uteoppholdsareal (BAU)/år  NOK/individ	BN  B  N  BN	NS 3451 (27), NS 3454 (35), NS-EN 16627 (36), ISO 15686-5 (37), Norsk prisbok (38)		x	x
KVA*	Prosess	KVA5.1 Demografisk analyse	Kvalitativt	BN	BREEAM Communities GO01, SE02 (8)	x	x	x
		KVA5.2 Interessentanalyse		N		x	x	x
		KVA5.3 Behovsanalyse		N		x	x	x
		KVA5.4 Konsultasjonsplan		N		x	x	x
	Byform	KVA5.5 Urban tilgjengelighet	Antall kategorier	N		x	x	x

Kategori	Vurderingskriterier	Nøkkellindikatorer (KPI)	Enhet	Bygningsnivå (B), områdenivå (N) eller begge deler (BN)	Standarder og referanser	Strategisk planleggingsfase	Implementeringsfase	Driftsfase
		KVA5.6 Gatetilkobling	Avstand	N		x	x	x
		KVA5.7 Arealbruksmiks	Antall innbyggere	N		x	x	x
		KVA5.8 Sentralitet	Avstand	N		x	x	x
<b>INN**</b>								
*Disse KPI'ene vil bli videre utviklet i 2021								
**Kriterier og nøkkellindikatorer for innovasjonskategorien kan males både kvantitativt og kvalitativt. Framgangsmåte vil bli avgjort i 2018. Denne KPI'en vil bli videre utviklet i 2021.								

ZEN-definisjonen har flere dimensjoner som er metodologisk uforenelige. Det er derfor nødvendig med flermålsanalyse (*multi-criteria decision analysis, MCDA*) for å kunne vurdere kriteriene og nøkkelindikatorene (KPIene) ut fra en samlet prestasjon. Dette gjør at flere ulike dimensjoner kan vurderes mot hverandre.

I likhet med all annen bruk av vurderingskriterier og nøkkelindikatorer må brukerne alltid vurderer aktuelle indikatorer opp mot datatilgjengelighet og -pålitelighet, harmonisering med eksisterende måle- og evalueringsmetoder (i Norge og Europa), relevans i forhold til eksisterende målsettinger på bynivå, samt hvor anvendelig kriteriene er og om indikatorene er tilpasset til prosjektnivået (f.eks. bygning, kvartal, område, by). Slike tilpasninger skal for pilotområdene harmoniseres med ZEN-definisjonen, målesystem, datahåndtering og datavisualisering i arbeidspakke 1 (WP1) og vis-a-vis partnerne i ZEN-pilotområdene i arbeidspakke 6 (WP6). Utprøving av visualisering vil gjøres i de første rapportene fra arbeidet med datahåndtering (19) og datavisualisering. Dette vil bli videreutviklet og tilbakekoblet i den videre utviklingen av ZEN-definisjonen. Ytterligere informasjon om bruken av kriteriene og nøkkelindikatorene finnes i (10), mens ytterligere informasjon om overvåking og sporing av kriterier og nøkkelindikatorer finnes i (19).

#### 4.1 Klimagassutslipp (KGU)

ZEN-senterets hovedformål er å redusere direkte og indirekte **klimagassutslipp mot null** i løpet av analyseperioden, i tråd med et valgt ambisjonsnivå og med hensyn til hvilke livsløpsmoduler og bygnings- og infrastrukturelementer som inkluderes. For å nå målet må planlegging, design og drift av bygninger og tilhørende infrastruktur gjøres med tanke på å minimere klimagassutslippene fra hele livsløpet, fra utvinning av råmaterialer, tilvirkning av produkt, transport, installasjon, bruk, vedlikehold, reparasjon, utskifting, energibruk i drift, vannbruk i drift, transport i drift, demontering, avfallsbehandling, samt gjenbruk og gjenvinning i en sirkulær økonomi (se Figur 3).

I ZEN-workshopene ble det innledningsvis foreslått å bruke en metode med et ovenfra-og-ned-perspektiv (*top down*), som Global Protocol for Community-Scale GHG Emission Inventories Report (39), men denne metodiske tilnærmingen ble ansett som uegnet i planleggings- og designfasen for områder av to grunner. For det første er denne tilnærmingen ikke forenelig med en modulær og livsløpsbasert metode. For det andre er det i datagrunnlaget (for eksempel miljødeklarasjoner) vanskelig å skille mellom direkte og indirekte utslipp, som er en forutsetning for å kunne rapportere klimagassutslipp etter scope 1, 2 og 3 i henhold til (39).

Nøkkelindikatorene (KPI) er derfor basert på eksisterende standarder og metoder som benyttes i bygg- og anleggsbransjen, for eksempel *NS 3720 Klimagassberegninger for bygg* (26), *EN 15978 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode* (25) og *NS 3451: 2009: Bygningsdeltabell* (27). Merk at LCA-metoden i ZEN-senteret inkluderer livsløpsmodulen B8 fra NS 3720 for transport i driftsfasen. Disse standardene og metodene vil bli anvendt og tilpasset til både et bygnings- og et områdeperspektiv i fremtidige utgaver av ZEN-definisjonen, ZEN-retningslinjene (10) og LCA-rapporter fra ZEN-senteret (16), (17).

A1-3 Produktstadiet			A4-5 Gjennomføringsstadiet		B1-7 Bruksstadiet						C1-4 Livsløpets sluttstadiet				D		
A1: Råvarer	A2: Transport	A3: Produksjon	A4: Transport	A5: Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid	B1: Bruk	B2: Vedlikehold	B3: Reparasjon	B4: Utskiftning	B5: Ombygging	B6: Energibruk i drift	B7: Vannforbruk i drift	B8: Transport i drift	C1: Rivning	C2: Transport	C3: Avfallsbehandling	C4: Avhending	D: Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer eksport av egenprodusert energi
KGU1.1			KGU1.2		KGU1.3		KGU1.1	ΣB2-B4	KGU1.4	KGU1.5		KGU1.6				KGU1.7	
									ENE	MOB						ENE	
									EFF								

**Figur 3. En oversikt over KPI'ene for klimagassutslipp per livssyklusmodul for bygg og infrastruktur. Resultatene for Energi, Effekt og Mobilitet vil mates inn i KPI'ene KGU1.4, KGU1.5, KGU1.7 respektivt.**

Alle KPI'ene innenfor klimagassutslippskategorien blir utslippene beregnet både på bygningsnivå (i henhold til systemgrense for bygningsvurdering) og på områdenivå (i henhold til systemgrense for områdevurdering), og bruker en modulær og livsløpsbasert tilnærming med utgangspunkt i *NS 3720 Klimagassberegninger for bygg* (26), *EN 15978 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode* (25) og *NS 3451: 2009: Bygningsdeltabell* (27). Totale klimagassutslipp måles i tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (tCO<sub>2</sub>-eq.) for området, energisystemer, annen infrastruktur, mobilitet, bygninger, komponenter og materialer. Bygningene innenfor området inndeles i henhold *NS 3457-3: 2013: Klassifikasjon av byggverk - Del 3: Bygningstyper*, som omfatter bygningstyper som boligblokker, skoler og sykehjem (29). I tillegg vil det benyttes nøkkelindikatorer på områdenivå og på bygningsnivå, for å kunne sammenligne ZEN-pilotprosjekter. På områdenivå er nøkkelindikatoren 'kg CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>2</sup> annet uteoppholdsareal (BAU)/år' med en analyseperiode på 100 år. På bygningsnivå er nøkkelindikatoren 'kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> oppvarmet areal (BRA)/år' med en analyseperiode på 60 år. Denne nøkkelindikatoren vil knyttes til sporing og rapportering av klimagassutslipp i de ulike prosjektfasene (planleggingsfasen, programmeringsfasen, skisseprosjekt/forprosjekt, detaljprosjekt/bygging, som bygget og i drift) opp mot ZEN-målsettingen (et nullutslippsområde har som målsetting å redusere sine direkte og indirekte utslipp av klimagassutslipp mot null innenfor sin analyseperiode og i tråd med et valgt ambisjonsnivå og med hensyn til hvilke livsløpsmoduler, bygnings- og infrastrukturelementer som inkluderes) ved å vise reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med referanseverdier.

En rapporteringstabell for klimagassutslipp finnes i rapporten 'ZEN guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0' report (10). Dette omfatter også tidsperspektivet for klimagassutslippene. Utslippsfaktorer (f.eks. for ulike energibærere) skal utvikles i ZEN-senteret (40).

KPI'ene for klimagassutslippskategorien er gruppert in i "klimagassutslippsreducerende KPI'er" og "klimagassutslippskompenserende KPI'er". KPI'ene innenfor klimagassutslippsreduksjon er KGU1.1 Materialer (A1-A3, B4), KGU1.2 Utslippsfri byggefase (A4-A5), KGU1.3 Miljøoppfølgingsplan (B1-B3, B5), KGU1.4 Energibruk i drift (B6), KGU1.5 Transport i drift (B8), KGU1.6 Sirkulære nabolag (C1-C4). KPI'en innenfor klimagasskompensasjon er GHG1.7 Fordeler og konsekvenser (D).

### KGU1.1 Materialer (A1-A3, B4)

Formålet med denne KPI'en er å minimere total bundet klimagassutslipp gjennom hele levetiden til nabolaget ned mot null, gjennom å ha fokus på materialbruk over en referanseperiode på 60 år. Målet er å redusere bundet klimagassutslipp fra produksjon og utskiftingsfasene til materialene (Livssyklusmodulene A1-A3 og B4) for bygninger og infrastruktur i nabolaget. Beregningene for denne KPI skal gjennomføres i henhold til NS 3720 basis eller avansert for livssyklusmodulene A1-A3 og B4. Systemgrensene og omfanget for NS 3720 basis burde inkludere bygningsdelene 21-29 og 49 mens det for NS 3720 avansert også bør inkluderes bygningsdelene 31-69. For NS 3720 infrastruktur skal bygningsdelene 71-79 inkluderes.

LCA rapporten for nabolag bør inkludere informasjon om bygnings- og infrastrukturtyper, bygningsareal, antall brukere, referanseperiode, systemgrenser, scenariobeskrivelse, materialmengder, kilde for utslippsdata, resultater per bygg og infrastruktur for hver livssyklusmodul og bygningsdel. Relevante referanseverdier kan bli funnet i rapporten (41).

### KGU1.2 Utslippsfri byggefase (A4-A5)

Formålet er å oppnå avfallsfri, fossilfri og utslippsfri bygge- og anleggsplass for bygninger og infrastruktur. Målet er å redusere ressursbruken og klimagassutslippene fra transport til og fra byggeplassen og anleggs-, bygge-, og monteringsarbeider (livssyklusmodul A4-A5). Beregningene for denne KPI'en skal gjennomføres i henhold til NS 3720 basis eller avansert for livssyklusmodulene A4-A5. Systemgrensene for byggeplassaktivitetene skal defineres i henhold til NS 3720. Dermed til byggeplassaktivitetene inkludere transport av materialer, masser og utstyr til og fra byggeplass, mobile og stasjonære anleggsmaskiner, energibruk til oppvarming, kjøling, tørking, lys på byggeplass og transport og behandling av avfall som er produsert på byggeplass. Avfallsrapporten skal inkludere avfallsfraktjoner i kg for ubehandlet tre; papir, papp og kartong; glass; jern og andre metaller; gipsbaserte materialer; plast; betong, murstein, leca og andre tunge byggematerialer; elektrisk og elektronisk avfall; mineralullisolasjon, blandet byggavfall; farlig- og spesialavfall og totalt byggavfall sortert. Det skal også inkluderes den totale mengden avfall generert på byggeplass (kg/m<sup>2</sup>) og prosentandelen av avfallet som er resirkulert.

### KGU1.3 Miljøoppfølgingsplan (B1-B3, B5) – Ikke i bruk

Klimagassutslipp fra drift av bygg og infrastruktur (B1-B3 og B5) er ikke i bruk. Klimagassutslippene fra energibruk i drift og transport i drift er beregnet under KGU1.4 Energibruk i drift og KGU1.5 Transport i drift.

### KGU1.4 Energibruk i drift (B6)

En forutsetning for KGU1.4 KPI'en er at KPI'ene ENE2.1 Energibehov i bygg og ENE2.2 Levert og eksportert energi er beregnet. KGU1.4 KPI'en er brukt for å beregne klimagassutslippene fra energibruk i driftsfasen gitt forskjellige energibærere. Beregningen for denne KPI'en bør gjennomføres i henhold til NS 3720 for livssyklusmodulen B6. Klimagassutslippene fra eksportert energi ut av bygget systemgrenser skal rapporteres separat under KGU1.7 (Fordeler og konsekvenser, modul D). Scenarier for klimagassutslipp ved bruk av forskjellige energibærere skal gjennomføres i henhold til NS 3720 scenario én der det benyttes norsk elektrisitetsmiks og scenario to der det benyttes europeisk elektrisitetsmiks. Metoden for klimagassutslipp ved bruk av fjernvarme/kjøling skal følge NS 3720.



### KGU1.5 Transport i drift (B8)

En forutsetning for KGU1.5 er at KPI'en i mobilitetskategorien MOB4.1 Grønn mobilitet, MOB4.2 Tilgang til offentlig transport og bysentrum, MOB4.3 Bileierskap og MOB4.4 Parkering utenfor gaten er beregnet. KPI'en MOB4.1 for grønn mobilitet er brukt for å beregne klimagassutslipp fra å konvertere til fossilfri og utslippsfri transportteknologier og MOB4.2/MOB4.3 for å bregne et skifte i transportmåte (mot mer offentlig transport, gange eller sykle) i nabolaget. Dokumentasjon kan være i prosentandel av 'grønne' transportmåter som er tilgjengelig i ZEN pilotområdet, antallet turer som er gjennomført med forskjellige typer transport og energibærere og utslippsfaktorer for forskjellige kjøretøy, også inkludert brukerforholdet per transportmåte for å identifisere bildeling. Beregningen av denne KPI'en skal være i henhold til NS 3720 for livssyklusmodul B8.

### KGU1.6 Sirkulære nabolag (C1-C4)

Formålet med denne KPI'en er å øke resurseffektiviteten, spare materialkostnader og utslipp ved å bevare eksisterende komponenter og materialer. KGU1.6 inkluderer utslipp fra riving og avhendingsaktiviteter. Utslippene fra disse aktivitetene er beregnet ved å bruke scenarioer for prosentandeler for ombruk, resirkulering, energigjenvinning og deponi. Klimagassutslipp fra karbon som blir tatt opp i produksjonsfasen på beregnes under C3-C4. Beregningene for denne KPI'en skal gjennomføres i henhold til NS 372 for livssyklusmodulene C1-C4.

### KGU1.7 Fordeler og konsekvenser (D)

Formålet med KGU1.7 er å øke resurseffektiviteten og redusere klimagassutslippene og kostnadene gjennom å innføre sirkulær økonomiprinsipper. Denne KPI'en inkluderer konsekvenser ut over systemgrensene som ombruk, resirkulering og energigjenvinning etter avhendingsfasen er over og eksport av energibruk i drift som kommer fra produktstadiet (A1-A3), bruksstadiet (B1-B7) og livsløpets sluttstadium (C1-C4). Produkter som kommer fra produksjonsfasen (A1-A3) som blir behandlet som biprodukter hvis det har verdi eller blir behandlet som avfall skal ikke inn under livssyklusmodul D. Beregningene av denne KPI'n skal gjennomføres i henhold til EN 15978 og NS 3720.

## **4.2 Energi (ENE)**

Et av de viktigste målene for et nullutslippsområde er at det skal være energieffektivt, da den mest miljøvennlige energien er den som ikke brukes. Å redusere energibehovet og energibruken vil derfor være det første skrittet på veien mot å nå et **fossilfritt energisystem** (*decarbonised energy system*). Dette er en av EUs politiske målsettinger og et hovedelement i SET-planen (Strategic Energy Technology Plan, SET-Plan) (42), (43).

Et nullutslippsområde skal også forsynes av smarte og **fornybare energikilder**. I praksis betyr dette at utforming og drift av et ZEN-område må fokusere på å benytte fornybare oppvarmings- og energikilder, som opererer i samspill med det omkringliggende energisystemet. For å oppnå dette er det også nødvendig å vurdere løsninger for energilagring, effektstyring, digitalisering, smarte nett og systemoptimering.

Nøkkelindikatorene for energi er utelukkende rettet mot energibruk i nabolagets driftsfase, og omfatter ikke bundet energi (*embodied energy*). Dette er skyldes at bundet energi er dekket av indikatorer i kategorien "Klimagassutslipp". Energi i driftsfasen skal modelleres og/eller estimeres i

alle prosjektfaser. I driftsfasen skal nøkkelindikatorerne evalueres basert på direkte målinger, så langt dette er mulig. Energibruk og energiproduksjon i området skal beregnes/måles med timesoppløsning, og presenteres visuelt ved bruk av lastprofiler, lastvarighetskurver og fargekodede teppeplot. Det er tre poenggivende indikatorer for 'Energi' som vurderes basert på årlige summer for energibruk/energiproduksjon. Alle nøkkelindikatorerne skal beregnes/måles for piloten og pilotens referanseområde.

#### ENE2.1 Energibehov i bygg

Nøkkelindikatoren 'netto energibehov' i bygg beregnes innenfor *systemgrensen for bygningsvurdering*, som må harmoniseres mellom ISO 52000 og NS 3031 (31), (30). I denne indikatoren skal årlig netto energibehov per kvadratmeter beregnes samlet for byggene i området når i byggenes driftsfase. Energibehovet i bygg beregnes typisk fordelt på ulike energiformål som varme, kjøling, ventilasjon, varmtvann, fuktregulering, lys og kan inkludere teknisk utstyr. Bygningene i et område skal deles inn i ulike bygningskategorier i henhold til inndeles i henhold *NS 3457-3 og SN-NSPEK 3031* som beskriver bygningskategorier som boligblokker, skoler og sykehjem (29). Netto energibehov for byggene skal beregnes som en årlig verdi, og måles ikke i driftsfasen. Indikatoren omfatter ikke lokal energiproduksjon, men ser kun på det *beregnete energibehovet* til bygningene i området.

#### ENE2.2 Energibærere – Levert og eksportert energi

Nøkkelindikatorerne ENE2.2 og 2.3 skal beregnes innenfor systemgrensen for områdevurdering. Denne systemgrensen er en utvidelse av systemgrensen for bygningsvurdering, og vil i tillegg til energibruken i byggene inkludere energiproduksjon og energibruk i området som går til blant annet dataservere, utendørsbelysning, snøsmelleanlegg, og lading av elektriske kjøretøy. Med andre ord omfatter systemgrensen for områdevurdering i prinsippet all energibruk innenfor området, i tillegg til lokal fornybar energiproduksjon.

Under indikatoren "ENE2.2 – levert og eksportert energi" skal årlig total energibruk og energiproduksjon, samt årlig sum for levert energi til området, og eksportert energi fra området vurderes for alle energibærere. Formålet med ENE2.2 er å redusere netto levert energi til området og optimalisere energiytelsen til området i driftsfasen.

#### ENE2.3 Energibærere – Egenforbruk og egenproduksjon av lokal fornybar energiproduksjon

Egenforbruk og egenproduksjon er nøkkelindikatorer som forteller oss om i hvor stor grad lokal energiproduksjon og energibruk i området stemmer overens. I nåværende versjon av ZEN definisjonen beregnes ENE2.3 kun for elektrisitet. Ved beregning av egenforbruk og egenproduksjon ser man på elektrisitetsbruk og elektrisitetsproduksjon i området hver for seg på timesnivå over et år. 'Egenforbruk' er en indikator som forteller oss hvor stor andel av elektrisiteten som produseres i området som benyttes direkte i området (som ikke må eksporteres til energinettet). Egenproduksjonen forteller oss hvor stor andel av energibruken i området som dekkes av egenprodusert energi. Formålet med ENE2.3 er å øke egenforbruket og egenproduksjonen til et område.

### **4.3 Effekt (EFF)**

Et nullutslippsnabolag styrer energistrømmer i området (i bygninger og mellom bygninger) og utveksler energi med det omkringliggende energisystemet på en **fleksibel** måte. Det responderer på signaler fra smarte nett og letter overgangen til et **utslippsfritt energisystem** (*decarbonised energy*

*system*). ZEN-definisjonen har derfor et sterkt fokus på effektflyt, og spesielt på effekttopper. Denne kategorien er basert på tilbakemeldinger fra ZEN-partnerne i arbeidet med ZEN-definisjonen og på workshops i 2017 om energi.

Nøkkellindikatorene for effekt er rettet utelukkende mot energibruk, og energiflyt mellom området og omkringliggende energinett i driftsfasen. Effektflyt i driftsfasen skal modelleres/estimeres i alle prosjektfaser. I driftsfasen skal nøkkellindikatorene, så langt det er mulig, evalueres gjennom direkte måling. Før området er i drift bør Effekt-indikatorene simuleres. Alle nøkkellindikatorene beregnes med timesoppløsning.

Det er 4 nøkkellindikatorer for Effekt. Nøkkellindikatorene for Effekt skal beregnes i henhold til *systemgrensen for områdevurdering* for elektrisitet og fjernvarme (ettersom disse energibærerne leveres via et energinett). I tillegg til beregning av Effekt-indikatorene er stilles det er krav til å dokumentere årlig netto lastprofil og lastvarighetskurve for elektrisitet og fjernvarme.

#### EFF3.1 – Maksimal last

Maksimal last (POW3.1) og maksimal eksport (POW3.2) er ekstremverdiene for netto lastvarighetskurven for elektrisitetsbruk/fjernvarmebruk i området. Topplasten refererer til den maksimale positive timesverdien for elektrisitet/fjernvarme som leveres til området ila. et år i drift.

#### EFF3.2 – Maksimal eksport

Maksimal eksport referer til den maksimale netto timesverdien av elektrisitet som eksporteres fra området i løpet av et år i drift (dvs. når produsert elektrisitet er større enn elektrisitetsbruken). Hvis det ikke er noe netto eksport ila året er maksimal eksport lik null. POW3.2 beregnes ikke for fjernvarme på nåværende tidspunkt, ettersom eksport av varme til et fjernvarmenettverk er mer avansert enn eksport av elektrisitet.

#### EFF3.3 – Utnyttelsesfaktor

Utnyttelsesfaktoren beskriver hvor mye av den maksimal nettkapasitet som kreves av nabolaget, og beregnes både for elektrisitet og fjernvarme. Utnyttelsesfaktoren beregnes basert på summen av årlig levert og eksportert energi (med positivt fortegn) og deles på maksimal nettkapasitet (gitt av den største verdien av maksimal last eller maksimal eksport) multiplisert med 8760 timer/år.

#### EFF3.4 – Effektfleksibilitet

Effektfleksibilitetsindikatoren(e) skal reflektere i hvor stor grad området utveksler energi (elektrisitet og fjernvarme) med det omkringliggende energisystemet på en **fleksibel** måte. Denne/disse nøkkellindikatoren(e) vil bli utviklet i senere versjoner av ZEN definisjonsrapporten, og vil sannsynligvis beregnes enten innenfor *systemgrensen for bygningsvurdering* eller *systemgrensen for områdevurdering* på timesnivå (eller med enda høyere oppløsning).

Ettersom samhandlingen mellom området og energinettet skjer på et timenivå eller lavere, vil fokuset være å optimalisere netto lastprofiler (av fjernvarme og elektrisitet) på typiske dager ila året ved ulike sesonger (for eksempel sommer og vinter) og ukedager (for eksempel arbeidsdag og helgedag). Effektfleksibilitetsprofilen skal reflektere forskjellene i lastprofilene på typiske dager i referansescenarioet (der er lite kontroll og forbrukerfleksibilitet) og typiske dager for ZEN-scenarioet.

Nøkkellindikatorer for effektivitet vil bli testet og etter hvert inkludert i ZEN definisjonen ettersom de utarbeides enten under arbeid i FME ZEN eller basert på eksterne kilder, for eksempel fra pågående arbeid fra IEA EBC Annex 67 om 'energifleksibile bygninger' (33).

#### 4.4 Mobilitet (MOB)

Da nøkkellindikatorer for mobilitet i et nullutslippsområde skulle defineres var det et sterkt ønske fra ZEN-partnerne om å velge relevante indikatorer blant eksisterende indikatorer fra BREEAM Communities (8) og relevante nasjonale studier (44). For å nå målet om et nullutslippsområde bør området fremme **bærekraftige transportmønstre** og smarte mobilitetssystemer både lokalt og regionalt. Dette kan oppnås gjennom god fysisk planlegging og god logistikk.

Bærekraftige transportmønstre kan oppnås gjennom overordnet utforming av området og integrert trafikkplanlegging, som støttes av smarte mobilitetssystemer. Disse tar sikte på å redusere miljøpåvirkningen fra transport i området og forbedre livskvaliteten for brukerne. I tillegg bidrar smarte mobilitetssystemer til reduksjon i reisetid, utslipp og overbelastning. Samtidig fremmer og oppmuntrer de til sunnere og mer bærekraftige reisevalg, samt kapasitetsøkning og ulykkesreduksjon (45). Nøkkellindikatorer for mobilitet er derfor MOB4.1 Grønn mobilitet, MOB4.2 Tilgang til kollektivtransport og bysentrum, MOB4.3 Bileierskap og MOB4.4 Parkering utenfor gaten. Nøkkellindikatorer beregnes i henhold til *systemgrense for områdevurdering*, og inkluderer ikke transport inne i bygninger (f.eks. heiser, rulletrapper).

##### MOB4.1 Grønn mobilitet

Målsettingen for denne nøkkellindikatoren er å beskrive prosentandelen av 'grønne' transportmåter som er tilgjengelige i ZEN-pilotområdet, samt antall turer som gjøres med ulike transportmåter som til fots, sykkel, buss, bil, trikk, tog, bane, båt, og så videre. Her er det viktig å inkludere drivstofforbruk for de ulike typene kjøretøy (f.eks. diesel, bensin, biodiesel, elektrisk, hydrogen, etc.), samt antall brukere per transportmåte for å identifisere andelen av transportdeling (f.eks. samkjøring, bildeling, andel offentlig transport). Reisevaneundersøkelsen (RVU) er en innledende kilde til årlige reisevanedata som kan vurderes og tilpasset ZEN-pilotområdene. Nøkkellindikatorer for transportmåte er %-andel.

##### MOB4.2 Tilgang til kollektivtransport og bysentrum

Målsettingen for denne nøkkellindikatoren er å tilrettelegge for hyppig og lett tilgjengelig offentlig transport, som et klimaeffektivt transportvalg i ZEN-pilotområdene. Nøkkellindikatoren vil vurdere koblinger til eksisterende og planlagte transportnoder (som tog, buss, trikk eller metro), samt koblinger til lokale bysentra. Avstanden fra en bygning innenfor ZEN-pilotområdet til nærmeste transportnøkkel, samt transportfrekvensen i topp- og lavtider i urbane og landlige områder, som angitt i BREEAM Communities tekniske manual, kan brukes som referanse (8).

MOB4.3 Bileierskap og MOB4.4 Parkering utenfor gaten vil bli videre utviklet i neste versjon (versjon 3.0) av ZEN definisjonen.

#### 4.5 Økonomi (ØKO)

Forskere og partnere i ZEN-senteret ønsker å harmonisere eksisterende metodikk for livssyklus-kostnader (*life cycle costs, LCC*) (54) med ZENs metodikk for klimagassberegninger og tilhørende fysiske systemgrenser. Dette vil spare tid og krefter, siden livsløpsinventar kan gjenbrukes i både LCC og LCA. Livssyklus-kostnader ØKO6.1 er derfor nøkkelindikator for **økonomi**.

##### ØKO6.1 Livssyklus-kostnader (life cycle costs, LCC)

ØKO6.1 inkluderer investerings- og kapitalkostnader, årlige kostnader (til for eksempel drift, vedlikehold, reparasjon, utskifting, utvikling, forbruk, rengjøring, etc.) og kostnader til rivning. Denne nøkkelindikatoren vil vurderes både på bygg- og områdenivå. KPI'ene for økonomikategorien vil videre utvikles, teste og analyser i 2021 og en beskrivelse av resultatene blir inkludert i versjon 3.0 av definisjonsrapporten.

#### 4.6 Stedskvaliteter (KVA)

Da kriterier for stedskvaliteter skulle defineres var det et sterkt ønske fra ZEN-partnerne som arbeider med dette temaet om å bruke eksisterende indikatorer fra BREEAM Communities (8). Det er lagt vekt på å velge kriterier fra BREEAM Communities som er tett knyttet til ZEN-definisjonen og tilhørende målsettinger. For **stedskvaliteter** er det kun tatt med nøkkelindikatorer for offentlige rom (8).

Årsaken er at hvert ZEN-pilotområde har ytterligere krav fra planmyndigheter knyttet til planlegging og utforming av områder. Videre er det stor forskjell mellom ZEN-pilotprosjektene med tanke på størrelse, funksjon og plassering. Ekspertgruppen har derfor søkt å identifisere kriterier og vurderingsaspekter som passer for alle ZEN-pilotområdene.

Ifølge IPCC er byform, det vil si størrelse, form og konfigurasjon av et byområde eller dets deler, sterkt knyttet til klimagassutslipp (IPCC 2014) (46). Dette er spesielt tilfelle når det gjelder transportbehov og mengde bilkjøring. Basert på verdensomspennende forskning har IPCC påpekt at tetthet, arealbruksmiks, tilkobling og tilgjengelighet er de viktigste drivkreftene for å redusere klimagassutslipp (IPCC 2014). Fra et ZEN perspektiv ser det også ut til å være en overlapp mellom de urbane drivkreftene som reduserer klimagassutslippene og de som skaper attraktive steder for beboere og arbeidere (47), (48). Det er også interessant forskning som viser viktigheten av disse urbane drivkreftene og sosial integrasjon mellom forskjellige nabolag i byen (49).

KPI'ene for **Stedskvaliteter** er gruppert i "prosess" indikatorer og "byform" indikatorer. Disse indikatorene og kategoriseringen er utviklet gjennom 2020 men har ikke blitt testet eller videre analysert i detalj. Dette arbeidet skal gjennomføres i 2021 og en mer detaljert beskrivelse av KPI'ene vil dermed bli presentert i versjon 3.0 av definisjonsrapporten.

Prosessindikatorene består av KVA5.1 Demografisk analyse, KVA5.2 Interessentanalyse, KVA5.3 Behovsanalyse, KVA5.4 Konsultasjonsplan. Demografiske behov og konsultasjonsplan vurderes i henhold til *systemgrense for områdevurdering*. Dette kriteriet er kvalitativt. Konsultasjonsplanen skal sikre at nøkkelinteressenter identifiseres og konsulteres når områder skal utvikles.

Byformindikatorene består av KVA5.5 Urban tilgjengelighet, KVA5.6 Gatetilkobling, KVA5.7 arealbruksmiks og KVA5.8 Sentralitet.

KVA5.5 **Urban tilgjengelighet** er tilgangen til de fem følgende kategoriene av urbane attraksjoner innenfor 1 km gåavstand for minst 90 % av befolkningen i området; lokal offentlig transport, rask regional offentlig transport, barneskole, lokale serviceklynger og attraktive åpne offentlige rom.

KVA5.6 **Gatetilkobling** er antallet integrerte gater og gangavstand til omkringliggende nabolag.

KVA5.7 **Arealbruksmiks** er balansen mellom beboere og arbeidere innenfor 500 meters luftavstand.

KVA5.8 **Sentralitet** er gjennomsnittlig gangavstand til sentrum.

## 4.7 Innovasjon

Innovasjon er en kritisk suksessfaktor for ZEN-senteret og innovasjonsstrategien skal bidra til å nå ZEN-målsettingen om å utforme, bygge, transformere og styre bærekraftige områder.

Innovasjonsaktivitetene i ZEN gjenspeiler partnernes behov for ny kunnskap, nye forretningsmuligheter, nye nettverk og styrket evne til å realisere visjonen om nullutslippsområder. I oktober 2020 publiserte ZEN senteret den første Innovasjonsrapporten (50) som beskriver 32 innovasjoner og innovasjonsideer som er under utvikling som en del av ZEN. Det er planlagt flere versjoner av ZEN innovasjonsrapporten.

Innovasjoner registreres med følgende informasjon:

- a. Innovasjonstype (i henhold til ZEN-definisjonen av innovasjon)
- b. En kort beskrivelse av bruksområdet.
- c. Markedspotensialet: Hvilket markedsområde har innovasjonen (lokalt, nasjonalt, internasjonalt)? Er det et nytt eller eksisterende marked? Hvem er kunden og hvem er hovedkonkurrenten(e)?
- d. Klimaeffekt: Energiproduksjon/energiparing, klimagassutslipp og maksimal effektlast.
- e. Status og neste handling: Skal en TTO kontaktes? (*Technology Transfer Office*)
- f. Er det klart for å publisere/rapportere om innovasjonen?

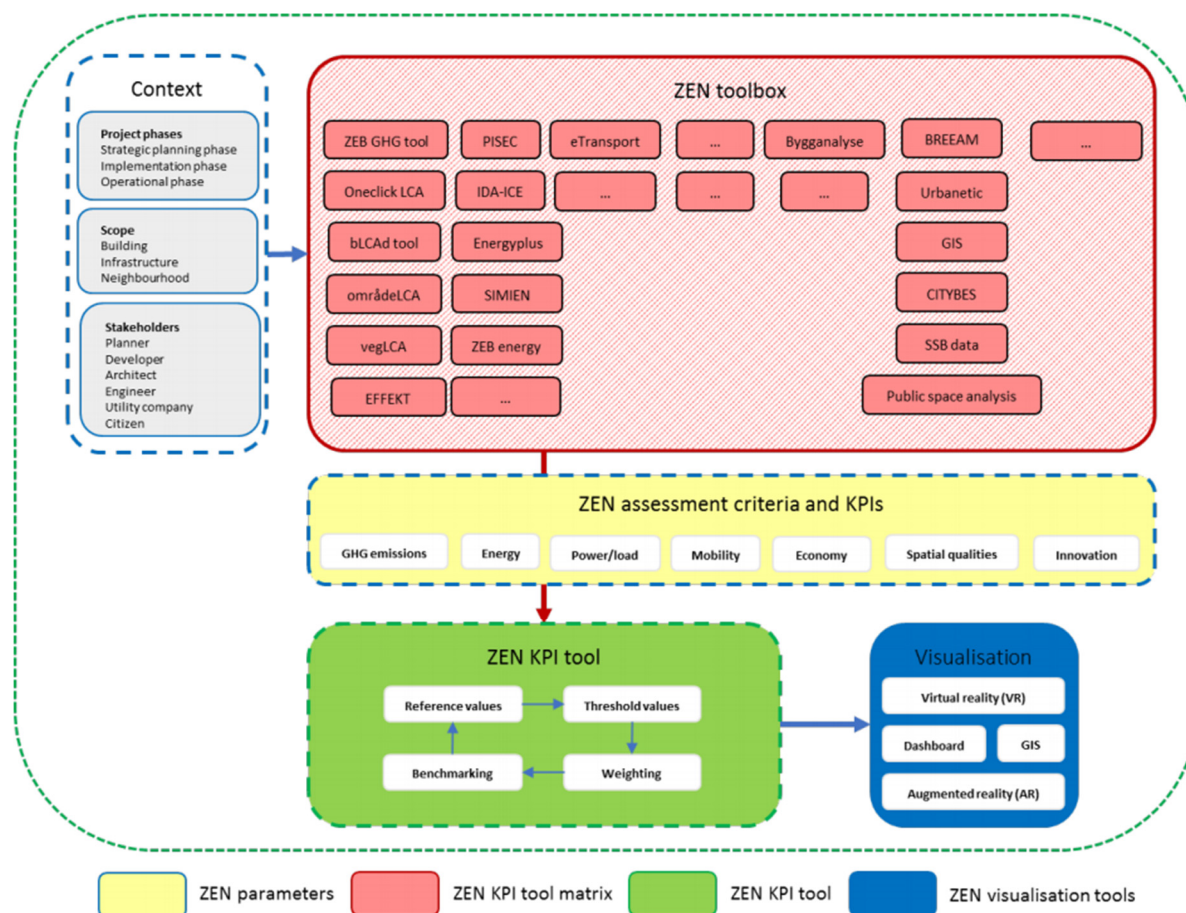
Det skal registreres hvor innovasjonen er på skalaen for teknologimodning (*Technology Readiness Level, TRL*). Vurderingskriterier og nøkkellindikatorer for innovasjon vil utvikles og fastsettes i løpet av 2021.

## 5 ZEN KPI verktøy og rammeverk

ZEN KPI verktøyet sitt konseptuelle rammeverk søker å implementere ZEN definisjonen i ZEN pilotområdene ved teoretisk uttesting av ZEN definisjon med reell data fra ZEN pilotområdene (51). Informasjonen som er samlet inn gjennom en kartlegging av eksisterende verktøy som er i bruk av ZEN partnere er brukt som bakgrunn for å utvikle det konseptuelle rammeverket for ZEN KPI verktøyet. Uttesting av ZEN KPI'ene vil være en kontinuerlig og iterativ prosess som gradvis vil fastslå passende minimumskrav, ambisjonsnivåer, referanseverdier, terskelverdier, vektning og sammenligningsverdier for en vellykket implementering av et ZEN KPI verktøy.

### 5.1 ZEN KPI verktøyet – konseptuelt rammeverk

Et konseptuelt rammeverk er utviklet for ZEN KPI verktøyet basert på informasjon og erfaring fra arbeidet med ZEN definisjonen, ZEN pilotområdene, ZEN partnere og eksisterende verktøy, se Figur 4. Rammeverket bygger på den opprinnelige ZEN toolbox rammeverket utviklet av Houlihan Wiberg and Baer in (52).



Figur 4. ZEN KPI verktøy – konseptuelt rammeverk utviklet basert på (52).

Rammeverket skal brukes i flere sammenhenger og vil ta for seg de forskjellige prosjektfasene, omfanget og ulike interesser. Hovedkomponentene i rammeverket er:

- ZEN-verktøykassen som består av eksisterende verktøy som kan beregne resultatene for spesifikke KPI'er
- ZEN vurderingskriteriene og KPI'ene som beskrevet i denne rapporten
- ZEN KPI verktøyet som vil samle informasjon om individuelle KPI'er fra verktøyene i ZEN-verktøykassen og strukturere dette i henhold til ZEN-kategoriene
- Visualisering av resultatene i form av dashboard-, GIS-, AR-, eller VR-løsninger som kan utvikles i ZEN-prosjektet.

Innenfor ZEN KPI verktøyet vil det foregå en iterativ prosess som innebærer å samle inn verdier, sette referanseverdier og terskelverdier for individuelle KPI'er og definere en vektning og sammenligning innenfor og på tvers av ZEN kategoriene og KPI'ene.

## 5.2 Eksisterende verktøy – ZEN verktøykassen

ZEN senterets partnere benytter flere forskjellige verktøy for å dokumentere ZEN vurderingskriteriene og KPI'ene. Følgende verktøy er samlet inn gjennom en kartlegging av verktøy som er i bruk i ZEN pilotområdene: Klimagassutslipp (f.eks. ZEB emission tool, OneClick LCA, bLCAd-tool, områdeLCA, EFFEKT, PI-SEC indicator tool, Simapro Arda, vegLCA), energy (f.eks. IDA-ICE, ZEB energy tool, PI-SEC indicator tool, Energyplus, SIMIEN), effekt (f.eks. eTransport), mobilitet (f.eks. PI-SEC), økonomi (f.eks. Bygganalyse), stedskvaliteter (f.eks. BREEAM

Communities, PI-SEC planning wheel, Urbanetic Fabric, GIS, CITYBES, SSB data) og innovasjon (gjenstår å kartlegge). Funnene fra kartleggingen viser at det mangler harmonisering mellom disse verktøyene, noe som fører til at det blir vanskeligere å harmonisere input og output til ZEN KPI verktøyet. Noen av hovedproblemene inkluderer forskjellige systemgrenser, metodikk og bakgrunnsdata (databaser) brukt, samt forskjeller i dataoppløsningen som brukes avhengig av fasen prosjektet er i (det vil si at det vanligvis bruke en lav dataoppløsning i den tidlige planleggingsfasen og høy dataoppløsning i sistnevnte prosjektfaser). De forskjellige verktøyene som er identifisert i kartleggingen bruker en rekke forskjellige databehandlingsformater. Dermed må ZEN KPI verktøyet være fleksibelt og kompatibelt med disse forskjellige formatene (f.eks. csv, xml, json, sql and html) (53), (51).

### **5.3 ZEN KPI verktøyet - spesifikasjon**

Hovedformålet med ZEN KPI verktøyet er å operasjonalisere ZEN definisjonen og støtte ZEN partnerne gjennom planlegging, design, bygging og drift av nullutslippsbygg, infrastruktur og nabolag. ZEN KPI verktøyet bør derfor være fleksibelt, enkelt å bruke og forstå og gi en klar og konsis oversikt over resultatene. Det bør også være et verktøy som er transparent og som kan brukes til å sammenligne resultater mellom forskjellige prosjekter og mellom forskjellige scenarier innenfor ett prosjekt. Ettersom ZEN definisjonen og ZEN KPI'ene fortsatt er under utvikling og vil bli testet og revidert i ZEN pilotområdene, må verktøyet være dynamisk og enkelt å oppdatere så lenge ZEN prosjektperioden varer. For at KPI verktøyet skal være nyttig må det ha et klart brukerperspektiv, og det må ha funksjonalitet slik at det kan brukes i alle de ulike prosjektfasene (dvs. strategisk planleggingsfase, implementeringsfasen og driftsfasen), for ulike vurderingsomfang (dvs. materialer/komponenter, bygninger/infrastruktur, nabolag og by) og for flere forskjellige interessenter (dvs. planleggere, utviklere, arkitekter, ingeniører, energiselskaper og beboere). Den iterative prosessen som finner sted i KPI verktøyet består av å sette referanseverdier, terskelverdier, vektingsfaktorer og sammenligningsverdier. Referanseverdiene blir satt i henhold til gjelden standard praksis (f.eks. netto energibehovsverdier satt i henhold til kravene i TEK17 for nybygg), mens terskelverdiene, vektingsfaktorene og sammenligningsverdiene blir besluttet gjennom workshop i ekspertgrupper med ZEN partnere, og ved å teste data fra ZEN pilotområdene i ZEN KPI verktøyet. Ambisjonsnivåene og målene for hvert prosjekt kan dermed settes i henhold til referanseverdiene (51).



## 6 Begrensninger og videre arbeid

Dette er andre versjon av ZEN-definisjonsrapporten og den har noen begrensninger. Følgende aspekter er ikke adressert her:

- *Andre miljøprestasjonsindikatorer enn klimagassutslipp:* Dette er fordi det er høyere usikkerhet forbundet med andre indikatorer; andre miljøpåvirkningskategorier har en tendens til å samsvare med klimagassutslipp; det er enklere å kommunisere miljøpåvirkning til interessenter i form av klimagassutslipp som er mye brukt og kjent i næringen; det vil være svært tidkrevende å samle inn data til en livsløpsvurdering av hele området og for alle miljøpåvirkningskategoriene; det kan være at det ikke er tilgjengelige livsløpsdata for alle miljøprestasjonsindikatorer.
- *Arealbruksendringer:* Klimagassutslipp fra arealbruksendring er foreløpig ikke tatt med i vurderingsmetodikken. Opptak av klimagasser kan regnes med i ZEN-beregningsmetoden, for eksempel for biogent karbon i materialer, karbonatisering av betong, karbonopptak i grønne vegger og tak, planting av trær i hager og parker.
- *Byggkvalitet:* Dette er fordi byggkvalitet skal vurderes i alle byggeprosjekter som et minstekrav (f.eks. i Plan- og bygningsloven (PBL) og i Byggteknisk forskrift (TEK17)), og heller ikke er et kriterium for å nå ambisjonen om et nullutslippsområde. Hvis ZEN-definisjonen ikke er begrenset til norske lover og forskrifter, så kan ZEN-definisjonen også anvendes internasjonalt. Fokus i ZEN-senteret er å utvide perspektivet fra ZEB-senteret fra bygg til områder, energisystemer, mobilitet og annen infrastruktur. Men noen aspekter, som inn klima og brannsikkerhet, er adressert i arbeidspakkene i ZEN-senteret hvor fokus er på helhetlig planlegging.
- *ZEB-senterets framgangsmåte for å kompensere for klimagassutslipp:* ZEB-metoden og erfaringene fra ZEB-senteret er beskrevet i kapittel 2.1 i denne rapporten, og har vært en sentral utvikling innen klimagassutslipp for norske bygninger. Erfaringer fra ZEB-senteret er tatt inn i NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger, og erfaringene knyttet til tiltak for å redusere utslipp (som redusert materialbruk, ombruk og resirkulering) vil overføres til ZEN-senteret. I ZEN-senteret skal det gjøres ytterligere arbeid for å avklare hva som skal være anbefalt minstekrav for ZEN-pilotområdene, og hvordan klimaeffekten av lokal fornybar energiproduksjon skal beregnes.
- *Universell utforming og klimatilpasning:* Disse har ikke blitt tatt med siden det er et minstekrav for både universell utforming og klimatilpasning at det skal vurderes i alle områdeutviklinger (f.eks. Plan og bygningsloven (PBL) og Byggteknisk forskrift (TEK17)). De er heller ikke i seg selv forutsetninger for å realisere ambisjonen om et nullutslippsområde. Hvis ZEN-definisjonen ikke er begrenset til norske lover og forskrifter, så kan ZEN-definisjonen også anvendes internasjonalt. Men disse aspektene vurderes samtidig som nullutslippsstrategier i planlegging, design og drift i ZEN-pilotområdene, samt i arbeidspakkene i ZEN-senteret hvor fokuset er helhetlig planlegging.

Denne andre utgaven av ZEN-definisjonsrapporten har vist at det er et betydelig omfang av videre arbeid. I ZEN-senteret vil følgende aspekter avklares:

- KPI'er og kriterier for mobilitet, økonomi og innovasjonskategoriene skal videre utvikles og testes.
- Testing, videre analyse og detaljert beskrivelse av KPI'ene og kriteriene for stedskvaliteter blir utviklet i 2021.
- En prosess for finjustering og tilpassing av ZEN-definisjonen og håndtering av nøkkelindikatorer skal utvikles. ZEN-definisjonen vil oppdateres, basert på erfaringer fra dette.
- Referanseverdier (*baseline/base case*) for kriterier og nøkkelindikatorer skal utvikles for å muliggjøre sammenligner mellom ZEN-pilotområdene.

- I forbindelse med utviklingen av ZEN-definisjonen og ZEN-guideline skal et halvautomatisk overvåkings- og evalueringssystem utvikles for systematisk å måle kvantitative og kvalitative data som samles inn i løpet av prosjektperioden.
- Vekting og benchmarkingssystem (51): Ikke alle KPI'er er egnet for vekting eller benchmarking i ZEN KPI verktøyet, men det kan være nyttig informasjon å dokumentere og som kan brukes inn i noen av de andre KPI'ene. Det kan også være vanskelig å implementere ambisjonsnivåer og mål i samsvar med ZEN definisjonen når mange av ZEN pilotområdene har startet arbeidet og allerede har satt egne mål for å nå ZEN. Eksisterende mål og ambisjoner hos pilotene må harmoniseres med definisjonen av EN forskningscenteret. For vekting og benchmarking er det viktig å finne metoder som gjør det mulig å vurdere og sammenligne forskjellige designalternativer slik at de kan vurderes opp mot hverandre for å finne den beste løsningen. For å veie de forskjellige KPI'ene er en av de enkleste metodene "enkel summeringsvektingsmetode (simple additive weighting (SAW)) der:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i)$$

- $v$  er den samlede verdien av evalueringsobjektet  $x$ ,
- $x_i$  er målingen av objektet  $x$  på egenskapen  $i$ ,
- $v_i$  er funksjon for verdien av enkeltegenskapene,
- $w_i$  er vekten av egenskapen  $i$ ,
- $n$  er antallet egenskaper

- *Dataoppløsning (51)*: Et annet problem som må løses i ZEN KPI verktøyet er kravene til dataoppløsning. Eksempler kan være detaljnivået på klimagassutslippene i de forskjellige fasene i prosjektet.

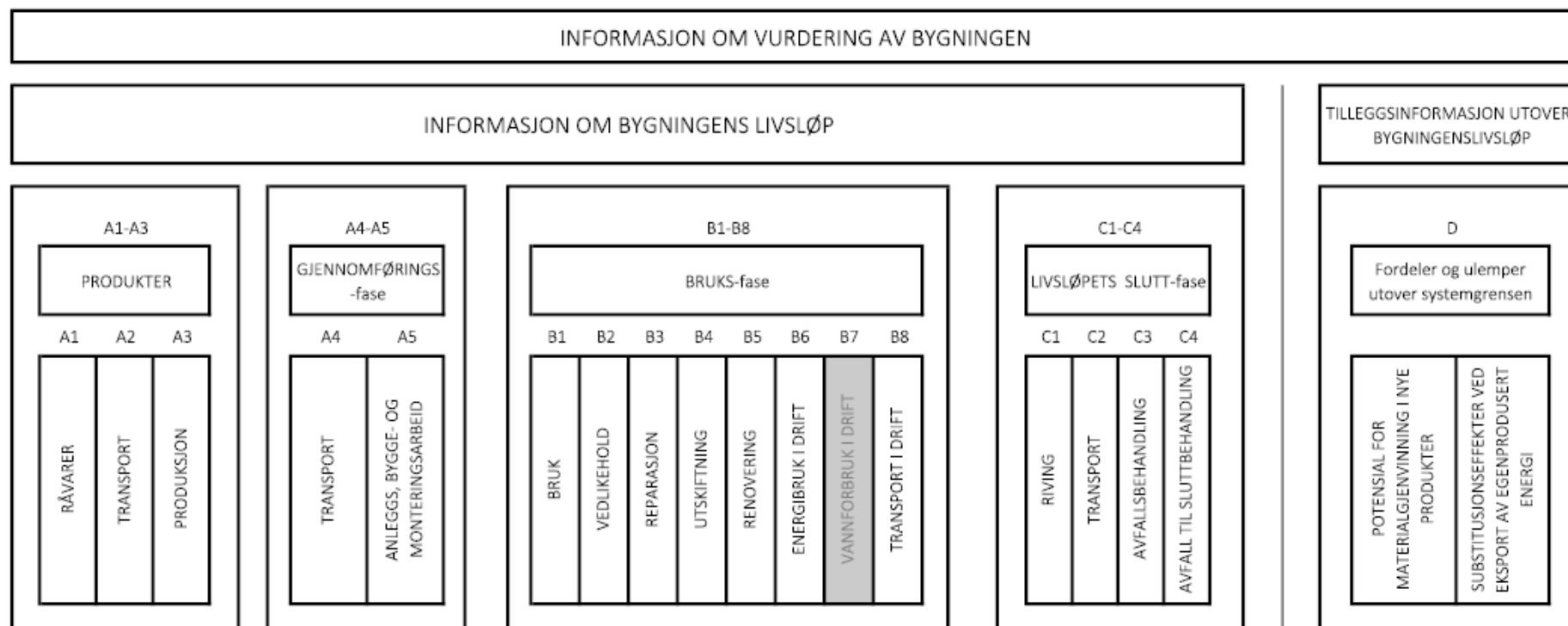
## Referanser

1. Marianne Kjendseth Wiik SMF, John Krogstie, Dirk Ahlers,, Annemie Wyckmans PD, Helge Brattebø and Arild Gustavsen. Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities - Definition, Key Performance Indicators and Assessment Criteria: Version 1.0. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities. 2018;ZEN Report No. 7.
2. ZEN F. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities 2016 [Available from: <http://fmezen.com/>].
3. ZEB. The Research Centre on Zero Emission Buildings 2016 [Available from: <http://www.zeb.no/>].
4. Walnum HT, Sørnes K, Mysen M, Sørensen ÅL, Almås A-J. Preliminary toolkit for goals and KPIs. Oslo; 2017.
5. European Commission. Smart Cities & Communities online: EC; 2017 [Available from: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/smart-cities-communities>].
6. RemoUrban. Smartcities Network online [Available from: <http://www.remourban.eu/smartcities-network/title.kl>].
7. European Commission. Horizon 2020 Work Programme 2018-2020. 10. Secure, clean and efficient energy. 2017 27 October 2017. Contract No.: European Commission Decision C(2017)7124 of 27 October 2017.
8. BREEAM. BREEAM Communities Technical Manual SD202-01.2012. BRE Global Limited. 2012.
9. Bosch P, Jongeneel S, Rovers V, Neumann H-M, Airaksinen M, Huovila A. CITYkeys indicators for smart city projects and smart cities. 2017.
10. Wiik MK, Bær D, Fufa SM, Andresen I, Sartori I, Uusinoka T, et al. A ZEN Guideline for the ZEN Pilot Areas. Version 1.0. FME ZEN - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities. 2018.
11. Kristjansdottir T, Fjeldheim H, Selvig E, Risholt B, Time B, Georges L, et al. A Norwegian ZEB Definition: Embodied Emissions. Oslo: ZEB Project Report (17) SINTEF Academic Press 2014.
12. Fufa SM, Dahl Schlanbusch R, Kari Sørnes, Inman M, Andresen I. A Norwegian ZEB Definition Guideline. Oslo: ZEB Project Report (29) SINTEF Academic Press; 2016.
13. Schlanbusch RD, Segtnan IL. bks 473.010. Nullutslippsbygninger (ZEB) Retningslinjer og beregningsmetoder. Oslo: SINTEF; forthcoming.
14. Wiik MK, Fufa SM, Kristjansdottir T, Andresen I. Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. Energy and Buildings. 2018;165:25-34.
15. SCIS. EU Smart Cities Information System online2017 [Available from: <http://smartcities-infosystem.eu/>].
16. Brattebø H, Skaar C, Lausset C. ZEN LCA report. Oslo; 2017.
17. Brattebø H, Skaar C, Lausset C. ZEN LCA guideline. Oslo; 2017.
18. Wolfgang O. European power market analyses to be carried out within FME ZEN 2017.
19. Ahlers D, Krogstie J. ZEN Data Management and Monitoring: Requirements and Architecture. Oslo; 2017.
20. Strasser H, Kimman J, Koch A, am Tinkhof OM, Müller D, Schiefelbein J, et al. IEA EBC Annex 63–Implementation of Energy Strategies in Communities. Energy and Buildings. 2017.
21. ISO 37100:2016. Sustainable cities and communities -- Vocabulary. International Organization for Standardization; 2016.
22. United Nations General Assembly. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development online: United Nations; 2015 [Available from: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)].
23. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; . 2013.
24. NS-EN 15643-1:2010. Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework. Standard Norge; 2010.

25. NS-EN 15978. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode / Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method European Committee for Standardization, Brussels, Belgium; 2011.
26. prNS 3720. Metode for klimagassberegninger for bygninger / Method for greenhouse gas calculations for buildings. forthcoming. Standard Norge; 201x.
27. NS 3451: 2009. Bygningsdelstabell / Table of Building Elements. Oslo, Norway: Standard Norge; 2009.
28. Fufa SM, Wiik, M. R. K., Mellegård, S. Lessons learnt from the design and construction strategies of two Norwegian low emission construction sites. IOP Conference Series Earth Environ Sci 352 0110022019.
29. Norge S. NS 3457-3: 2013 Klassifikasjon av byggverk – Del 3 Bygningstyper. Oslo: Standard Norge; 2013
30. SN/TS 3031. Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning / Energy performance of buildings - Calculation of energy needs and energy supply Standards Norway, Oslo, Norway; 2016.
31. ISO 52000-1:2017. Energy performance of buildings -- Overarching EPB assessment -- Part 1: General framework and procedures. International Organization for Standardization; 2017.
- 32. IEA EBC. IEA Solar Heating and Cooling (Task 40). EBC Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings online: EBC; 2014 [Available from: <https://iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=52>.
33. IEA EBC. EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings online: EBC; 2014 [Available from: <http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-67/>  
<http://www.annex67.org/>.
34. NS-EN 16258. Metode for beregning av og deklarerer av energiforbruk og klimagassutslipp for transporttjenester (vare- og persontransport) / Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers). Standard Norge, Oslo, Norway; 2012.
35. NS 3454. Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og klassifikasjon / Life cycle costs for construction works - Principles and classification Standard Norge, Oslo, Norway; 2013.
36. NS-EN 16627. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers økonomiske prestasjon - Beregningsmetoder / Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods. Standard Norge, Oslo, Norway; 2015.
37. ISO 15686-5: 2017. Building and construction assets - service life planning. Part 5: Life-cycle costing. Switzerland: International Standard Organisation; 2017. p. 44.
38. Norconsult Informasjonssystemer AS, Bygganalyse AS. Norsk prisbok. Sandvika: Norconsult Informasjonssystemer AS; 2017.
39. Fong WK, Sotos M, Doust M, Schultz S, Marques A, Deng-Beck C. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities USA: World Resources Institute; 2014 [
40. Wolfgang O. European power market analyses to be carried out within FME ZEN 2017
41. M. K. Wiik ES, M. Fuglseth, E. Resch, C. Lausset, I. Andresen, H. Brattebø, U. Hahn. Klimagasskrav til materialbruk i bygninger - Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. FME ZEN; 2020.
42. European Commission. Energy union and climate. Making energy more secure, affordable and sustainable online 2017 [Available from: [https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_en](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en).
43. SETIS. Strategic Energy Technologies Information System online 2017 [Available from: <https://setis.ec.europa.eu/>.
44. Vibeke Nenseth, Petter Christiansen, May Hald. Sustainable urban mobility indicators - relationships and comparisons. Report nr 1210/2012. ISBN 978-82-480-1351-8. Institute of Transport Economics (TØI); 2012.
45. Benevolo C, Dameri R, D'Auria B. Smart Mobility in Smart City. Action taxonomy, ICT intensity and public benefits 2016. 13-28 p.

46. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland; 2014.
47. al Gse. Värdeskapande stadsutveckling - Värdering av stadskvaliteter för bostäder, kontor och handel i Göteborgsregionen. 2016.
48. landsting Sl. Värdering av stadskvaliteter i Stockholmsregionen. 2010.
49. Legeby A. Patterns of co-presence: Spatial configuration and social segregation. USAB: Royal Institute of Technology; 2013.
50. Kvellheim AK. Innovasjonsrapport 2020. FME ZEN; 2020.
51. Wiik MRK, Fufa, S. M., Andresen, I., Brattebø, H., Gustavsen, A. A Norwegian zero emission neighbourhood (ZEN) definition and a ZEN key performance indicator (KPI) tool. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. 2019.
52. Aoife Houlihan Wiberg DB. ZEN Toolbox - First concept for the ZEN Toolbox for use in the development of Zero Emission Neighbourhoods version 1.0. FEM ZEN; 2018.
53. Resch E. AI. A database tool for systematic analysis of embodied emissions in buildings and neighbourhoods Buildings. 2018.

## Vedlegg A: Livsløpsmoduler i henhold til NS 3720



## Vedlegg B: Norsk-engelsk oversettelse av kjernebegreper i ZEN-definisjonsrapporten

zero emission neighbourhood – nullutslippsområde

key performance indicator – nøkkelindikator

assessment criteria – vurderingskriterier

ZEN KPI tool – ZEN KPI verktøy

category – kategori

GHG emissions – klimagassutslipp

energy – energi

power - effekt

mobility – mobilitet

economy – økonomi

spatial qualities – stedskvaliteter

innovation – innovasjon

reference project – referanseprosjekt

phase of development – utbyggingstrinn

project phases - prosjektfaser

planning phases – planleggingsfaser

brief and preparation phase - programmering

early design phase – skisseprosjekt/forprosjekt

detailed design phase – detaljprosjektering/bygging

as built phase – som bygget/overtakelse

operational phase (annually) – driftsfase (årlig)



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES