

De stad als living system

Hoe duurzame energie, nieuwe mobiliteit en hoogwaardige informatie essentieel zijn voor de leefbaarheid in de stad van de toekomst

In dit essay beschouwen we steden als levende systemen:

“Levende systemen zijn open, zichzelf-organiserende levensvormen die interacteren met hun omgeving. Zij blijven in leven door stromen van informatie, energie en materie.”

Vrij vertaald naar James Grier Miller, Living Systems Theory, 1987.

Dit essay is geschreven door de volgende specialisten die in los verband met elkaar samenwerken en zich inzetten voor de energietransitie:

Barbara van der Ploeg, Carol de Vries, Martijn Messing en Auke Hoekstra

3 juni 2024



Inleiding

Stel je een stad voor die ademt en leeft¹. Een duurzame stad waar mensen graag samenleven. Energie is overvloedig, voertuigen zijn zelfrijdend en gemeenschappelijk eigendom. De stad is groen en gezond. Mensen staan centraal in deze stad van de toekomst. Deze levende stad groeit en bloeit door samenwerking en technologische vooruitgang.

Wat is er nodig om deze visie werkelijkheid te maken? Het begint met een andere kijk op onze wereld. We laten het huidige systeem los en stellen de mens centraal. We zien de stad niet langer als een verzameling van gebouwen en infrastructuren, maar als een levend systeem, met stromen van energie, informatie en materie.² We laten los dat we vanuit het 'vandaag' kunnen plannen en sturen hoe het morgen verder gaat.

De komende jaren gaan we steeds meer interdisciplinair samenwerken. We maken ruimte voor innovatie en betrekken burgers actief bij alle veranderingen. Deze toekomst vraagt om een radicale omslag in ons denken en doen. Samen kunnen we steden creëren die echt leven en floreren, klaar voor de uitdagingen en kansen van de toekomst. Het is tijd om te kijken naar de stad als een dynamisch, geïntegreerd geheel.

Dit essay gaat over het loslaten van oude paradigma's en het omarmen van nieuwe inzichten. Welke technologische, sociale maatschappelijke vernieuwingen zijn hiervoor nodig? En waar moeten we nu al mee beginnen? Het begint met een aansprekend narratief. Hier gaan we een poging toe wagen.

Wij wensen u veel leesplezier!

Barbara van der Ploeg, Carol de Vries, Martijn Messing en Auke Hoekstra

¹ In dit essay gebruiken we de term 'stad' voor plaatsen waar mensen wonen. Zowel grootstedelijke agglomeraties als kleine dorpen aan de rand van het land.

² Dit sluit aan bij het prachtige essay '[De stroom zoeken](#)' van de NSOB, waarin de energietransitie benaderd wordt vanuit ecosysteem perspectief en het accent ligt op het sturen naar verandering van stroming, van ingesleten paden.

Samenvatting

1: Verhalen

We verplaatsen ons in de leefwereld van 'echte' mensen, in drie verschillende tijden: Een meisje van tien jaar oud, haar vader en haar oma vertellen over hun levens in 2070, 2040 en 2020. Deze verhalen vormen de basis voor de rest van het essay.

2: Anders kijken

Veranderen begint bij kijken. Vier manieren om anders te kijken naar het heden en de toekomst.

3. Stromen in een nieuw paradigma

De stad van de toekomst is gebaseerd op de integratie en uitwisseling van energie, informatie en materie. Hoe anders is dat in vergelijking met de stad van Nu?

4: Drivers en enablers

Verandering vanuit technologische, sociale en maatschappelijke vernieuwingen. Wat ons in beweging zet en wat ons weerhoudt.

5: Aanbevelingen voor morgen

We zien inspirerende projecten waarin de overheid goed samenwerkt met inwoners en marktpartijen. De kracht en betekenis van lokale gemeenschappen nemen toe. Holons veranderen de infrastructuur en distributie van energie. En: wat we los moeten laten om vooruit te komen.

Bijlagen:

1. [Tabel met verschillen Stad van Nu en de stad van de Toekomst.](#)
2. [Technologieën nader omschreven](#)

Colofon

1. VERHALEN

Leven in 2070, 2040 en 2020

In 2070 spreken we meisje van tien jaar oud, haar vader en grootmoeder, na afloop van het buurtpalaver. De kleindochter vertelt over het leven in 2070, haar vader over zijn jeugd in 2040 en de grootmoeder herinnert zich de tijd van 2020.

2070. De kleindochter vertelt over het leven in de stad in 2070

"Energiesysteem? Energie krijg je toch gewoon vanzelf? En wat is PV? Oh je bedoelt het dak! Als ik weg wil dan roep ik gewoon een vehikel met de app door te zeggen waar ik heen wil en hoe laat ik daar moet zijn. Onderweg pikt het vehikel pakketjes op als die op de route liggen zodat vehikels niet onnodig door de stad rijden. Soms wil ik lekker op een stepje of fietsen, dat is gezonder en gezelliger.

Onze straten zijn veel groener met meer water dan vroeger. En wist je dat iedereen vroeger zijn eigen vehikel had en dat de straat er mee volstond in plaats van dat de vehikels buiten de stad parkeren in opslagplaatsen? En dat je zelf spullen moest ophalen en weg moest brengen in plaats van ze aan vehikels mee te geven? Echt raar!

Bezorgen en oppikken is supermakkelijk: je kunt zien waar de vehikels zijn en als je er niet bent, gebruiken ze een buurtkluisje. Mama vindt dat ook belangrijk voor eten, want dat wil ze zoveel mogelijk van de boer uit de buurt. En ze zegt dat in het seizoen eten goedkoper is. Ik eet elke dag gewoon wat ik wil, maar de app geeft aan wat gezond voor me is en wanneer ik te veel suiker binnenkrijg. Op basis van mijn DNA en mijn biosensoren natuurlijk.

Papa werkt bij de centrale. Hij zegt dat het een regelsysteem is waarbij AI steeds verbeterd wordt en de boel in de gaten houdt. Ook de stedelijke ontwikkeling plannen ze daar. Ik ben er met school een keer heen geweest. Wauw, dat was indrukwekkend! Allemaal megagrote 3D-projecties waarmee je in de stad van het verleden en de toekomst kunt rondlopen om te zien hoe het was en hoe het wordt. Speciaal voor school lieten ze ons ook even rondlopen in Tokyo en Parijs!

Mama werkt veel thuis, want haar werk is best ver weg. En als ze naar kantoor gaat, zegt ze altijd dat ze het meeste doet tijdens de vergaderingen die ze in het vehikel heeft naar kantoor en terug. Vehikels zijn trouwens heel anders dan vroeger. In een museum heb ik wel eens zo'n auto gezien als oma had. Wist je dat de hele voorkant van het vehikel in beslag werd genomen door een motor die heel veel herrie maakte en die olie verbrandde en die de giftige gassen in de lucht dumpte?

Mijn broer is al groot en werkt bij de circu-hub. Hij vertelde dat vehikels vroeger als ze oud waren niet uit elkaar werden gehaald, maar gedumpt werden op een afvalhoop. Dat is toch supervies allemaal?

Ik heb net in het buurtpalaver meegepraat over hoe we de buurtspeelplaats verder gaan ontwikkelen. Oma vertelde dat mensen vroeger niet over hun eigen buurt beslisten. Dat is toch raar?"

2040. Haar vader vertelt over het leven in een middelgrote stad in 2040

"We hadden een vijfde generatie energiesysteem waar we allemaal warmte en koude aan konden leveren. Toen was dat nog best nieuw. Toen ze het aanlegden, zijn alle straten zijn in een keer opgelegd en er is ook gelijk een waterberging ingelegd. Ik had een goed geïsoleerd huis en een eigen warmtepomp die zijn warmte haalde uit het nieuwe energiesysteem. Dat werkte goed maar hij kon alleen niet koelen in de zomer omdat ik nog ouderwetse radiatoren had. Bij de overburen konden ze dat wel en daar was ik altijd graag in de zomer. Ik had ook eigen zonnepanelen op het dak maar verder werd alles door de gemeente geregeld in plaats van door het buurtpalaver.

Er werd nog superveel geparkeerd in de straat want de meeste mensen hadden nog een eigen auto. Daardoor was er geen plaats voor groen en geen water voor verkoeling. En het was ook veel lawaaiiger, viezer en gevaarlijker buiten. Een buurmeisje is zelfs doodgereden hier in de buurt: het waren echt andere tijden. Opladen van al die eigen auto's was ook een probleem. Ik heb toen zelf een laadpaal laten aanleggen, maar veel burens moesten opladen bij een laadplein verderop en dat was echt onhandig, want zij moesten op hun beurt wachten en betaalden de hoofdprijs. Mijn auto kon ook nog eens slim laden dus dat was dubbel verdienen. Maar nog steeds absurd duur vergeleken met vehikels van nu hoor!

Openbaar vervoer had je ook, maar dan moest je lopen naar een stopplek verderop en wachten tot er een groot vehikel kwam. En aansluitingen met de trein waren vaak niet optimaal. Pakketjes kwamen in relatief grote en gevaarlijke vehikels met een chauffeur. Ja, al die auto's zorgden ook voor behoorlijk wat chaos in de stad. De buurtpalavers had je dus nog niet, maar ik herinner me dat mijn vader toen nog wel een coöperatie heeft opgericht die samen zorg inkocht en energie goedkoper en duurzamer maakte door het slim met elkaar te delen. Maar dat was echt pionieren. Het was best een zootje in die tijd."

2020. Haar grootmoeder vertelt over het leven in een dorp in 2020

"Ik was toen mantelzorger voor mijn moeder. Openbaar vervoer was slecht in het dorp en auto's moest je zelf rijden en dat kon mijn moeder niet meer. Dus ze kwam het dorp niet meer uit tenzij ik haar bracht en ik was overdag meestal weg om te werken. Dan heb ik het echt wel fijner nu: ik zou ook niet meer zelf kunnen rijden maar ik kom overal met vehikels die me oppikken zodra ik het vraag aan de app.

Vroeger hadden wij onze eigen auto en onze eigen parkeerplaats. Dat vonden we heel belangrijk toen. Je moest sowieso overal in de auto heen want virtual reality bestond nog niet echt en maaltijdbezorging hadden we niet in het dorp. We aten ook nog best veel vlees. Er zat zo'n megastal voor varkens een eindje verderop. Het landschap was grotendeels gras en mais voor beesten, in plaats van parken natuurgebieden en voedselbossen zoals nu.

Oude dingen gingen op de vuilnishoop in plaats van naar de circu-hub, al was er in een dorp verderop wel een repair-café geloof ik. Energie uit zonnepanelen was nog vrij nieuw en veel mensen klusten een paar zonnepanelen boven op de dakpannen. We waren allemaal zelf een bezig met isoleren en hybride warmtepompen. Het was nog echt ieder voor zich in die tijd, hoewel. Als je de energierekening niet kon betalen of toen het slecht ging met mijn moeder, kregen we soms hulp van onze burens. Er was best gemeenschapszin. Maar het was een stuk minder goed geregeld voor mensen die geen goed netwerk of veel geld hadden. De Nationale Ombudsman schreef er toen ook nog over dat het niet goed lukte om ook mensen met een lager inkomen mee te laten komen. Nu is dat beter met het buurtpalaver."

2. ANDERS KIJKEN

Wat is er aan de hand? Waar wil je naar toe? Veranderen begint met kijken. Vier manieren om anders te kijken naar het heden en de toekomst.

1. Verbind de vijf sectoren uit het Klimaatakkoord

Na twee jaar intensief onderhandelen aan ‘tafels’ tekenden we in 2019 het Klimaatakkoord. Vanaf het eerste moment was er de opdeling in marktsectoren: elektriciteit, gebouwde omgeving, industrie, landbouw & landgebruik en mobiliteit. Dit was nodig om überhaupt met elkaar aan tafel te kunnen komen. We hadden geen idee van wat “de energietransitie” zou betekenen en hoe ver het zou gaan. Er was nauwelijks input van kennis, we stonden aan het begin. Maar we hebben wel ambitie getoond en doelen afgesproken. Nu, vijf jaar later, is er veel kennis gegenereerd, op veel plekken geëxperimenteerd en veel gedaan.

“Levend systeem”

Steden worden gezien als open, zelforganiserende systemen die functioneren op basis van de uitwisseling van energie, materie en informatie. Dit paradigma benadrukt de noodzaak om steden te zien als een samenhangend geheel van mensen, natuur en technologie.

Het is inmiddels duidelijk dat alles met alles verbonden is. De dynamiek neemt sterk toe. Waar we nu nog een vrij overzichtelijk energiesysteem hebben, zijn we aan het omschakelen naar een veel complexere gedecentraliseerde situatie. In de nabije toekomst kan iedereen actief deelnemen aan het nieuwe systeem: mensen worden energieleverancier én gebruiker. Ze schakelen om naar andere productieprocessen en energievormen. Ze veranderen van gedrag, investeren en besparen. Mensen gaan onderling energie uitwisselen en gemeenschappen van burgers en bedrijven investeren in opslag, sturing en opwek. De verschillende infrastructuren worden onderling verbonden en er ontstaan nieuwe markten.

Daarmee komen we aan het einde van het oude denken in losse compartimenten. Dit heeft ons een tijdlang geholpen, maar helpt ons nu niet meer verder. We moeten omschakelen naar een nieuw integraal model.

In de buurt komt alles samen

In het verhaal van de kleindochter, vader en oma komen wonen, warmte, koeling, mobiliteit en voeding samen in hun leefwereld. Bij hen in de buurt komt alles samen. We zullen hun taal moeten gaan spreken. En zo ver moeten doordenken dat de gevolgen voor mensen helder worden. Wat moet ik met mijn woning, kan ik dat betalen, hoe kom ik naar school en op m'n werk, moet ik anders gaan leven, krijgen we het wel warm in de winter en koel in de zomer, hoezo moet ik zelf meebeslissen wat er in mijn buurt gaat gebeuren...?

2. Draai de film terug (“back casten”)

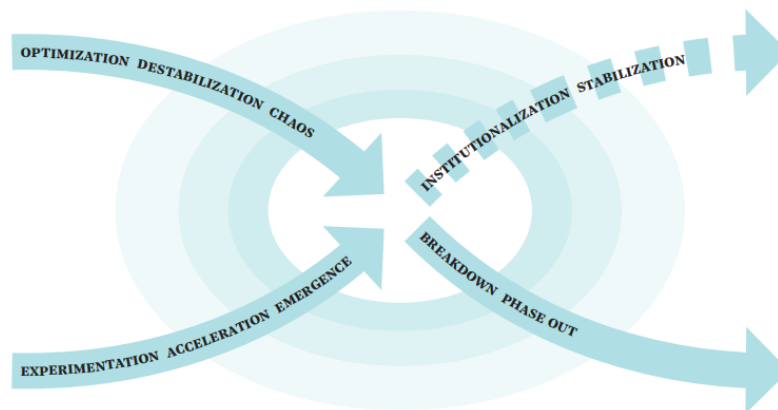
Om echt te kunnen omdenken moet je bij de toekomst beginnen en dan de film proberen terug te draaien. Je kijkt dan niet alleen naar het nieuwe dat er moet komen maar ook naar wat er niet meer nodig is: wat afgebroken, opgevangen (sociaal), uitgefaseerd of losgelaten moet worden.

Pas met een transitiepad naar de toekomst voor ogen weet je wat je nu zou moeten stimuleren om de zaak in beweging te krijgen. Als maatregelen aangrijpen op kantelpunten is het effect nog groter. Daarom kijken we zowel naar *enablers* en *drivers* als naar tegenkrachten,

obstructors. Maar de kunst is ook daar op een nieuwe manier naar te kijken. Omdenken op dit niveau is het vinden van positieve stimulansen, kansen en verleidelijke perspectieven, waarmee mensen het gemakkelijker of aantrekkelijker vinden een nieuwe koers te gaan varen dan vast te houden aan het bestaande.

Een interessant hulpmiddel is de X-curve (zie afbeelding). De X-curve maakt inzichtelijk in welke fase een transitie zich bevindt en welke dynamieken daarbij een rol spelen.

Figuur 1: de 'omgekeerde x-curve' van transitie²



Afbeelding: Uit het NSOB-essay Taal voor transitie ³

Vooruitdenken leidt niet tot een transitie

We zijn geneigd om onze toekomst te plannen, om vooruit te denken. In een transitie kom je er niet met *forward thinking*. Bewust en onbewust blijf je namelijk de uitgangspunten van vandaag gebruiken. Ook zijn er psychologische drivers als *verliesaversie* en *status quo bias* die de verandering tegenhouden: de angst om het bekende los te laten is vaak sterker dan de wil om te veranderen.

3. Gebruik integrale simulatiemodellen

"Assumption is the mother of all failures." In een veranderend paradigma schieten bestaande modellen en intuïtie tekort. Daarom gebruiken we nieuwe, integrale simulaties om scenario's door te rekenen.

Energie, materie en informatie krijgen pas waarde wanneer mensen ze gebruiken. Ze zijn goedkoop als ze overvloedig zijn en duur als ze schaars of moeilijk te verkrijgen zijn. Het gaat dus om de toegang tot deze stromen. Het aanleveren en onttrekken aan deze stromen creëert een dynamisch geheel. Deze stromen kun je typeren en kwantificeren, zowel op detailniveau (mens, huishouden, voertuig, buurtbatterij, bedrijf) als op systeemniveau (stad, regio, land).

Voor complexe systemen zijn simulatiemodellen essentieel. Ze maken patronen en oorzaak-gevolgrelaties zichtbaar die anders onzichtbaar blijven. Denk aan modellen van het Economisch Planbureau of klimaatmodellen van het IPCC. Ook in het bedrijfsleven en door netbeheerders, energiehandelaren en bouwbedrijven worden simulatiemodellen gebruikt.

Maar de meeste bestaande modellen zijn gebaseerd op het huidige paradigma. Voor een integrale aanpak zijn innovatieve simulatiemethodes nodig.

³ [Taal voor Transitie | Nederlandse School voor Openbaar Bestuur \(nsob.nl\)](https://www.nsob.nl/taal-voor-transitie)

'Agent based modelling'

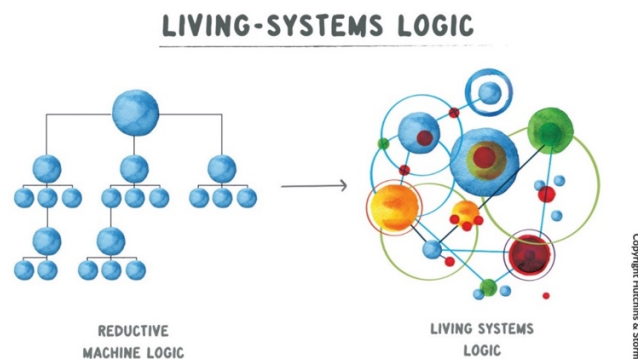
Als interacties en gedrag goed en integraal gekarakteriseerd zijn, hebben modellen voorspellende waarde. Je kunt vooraf als het ware uitproberen hoe interventies en interacties uit zullen pakken. Zo kan je samen ontdekken wat de beste aanpak is om in je gebied zaken te verbeteren. 'Agent based modelling' is de meest integrale, realistische en flexibele techniek om systemen als wijken, bedrijventerreinen en regio's te modelleren. Deze techniek heeft zich inmiddels bewezen bij allerlei scenariostudies. Zo'n simulatie levert nieuwe gezichtspunten en houvast op voor de mensen die daar wonen, werken of ervoor verantwoordelijk zijn.

4. Kijk met de natuur als inspiratiebron

Een vierde kijk op de stad is vanuit de natuur. Zie de stad als een levend systeem, een 'habitat' van de mensheid. We richten ons op verbanden en stromen in plaats van op objecten, scheidslijnen en sectoren. We beschouwen de stad als een geheel systeem, opgebouwd uit systemen binnen systemen, in de context van de omliggende omgeving.

In dit essay staat de mens centraal als onderdeel van het gehele ecosysteem. Vanuit het perspectief van ruimtelijke ordening zien we een netwerk van steden en dorpen, de 'habitat' van de mens. Grote industriële complexen fungeren als centra voor de productie van essentiële grondstoffen en producten, terwijl doorgaande snelwegen dienen als slagaders voor het transport van deze essentiële stoffen. Binnen en tussen deze deelsystemen zien we stromen van informatie, materie en energie.

We gaan dieper in op de menselijke habitat, een netwerk van plekken waar mensen leven, van grootstedelijke agglomeraties tot het kleinste dorpje aan de rand van het land. Met 'de stad' bedoelen we een verdichting in dit netwerk, een deelsysteem waar een gemeenschap van mensen woont en werkt, met een verankering in de eigen historie en cultuur.



Uit The nature of business, Giles Hutchins & Laura Storm

3. STROMEN IN EEN NIEUW PARADIGMA

Vergelijken we de stad van de Toekomst met de stad van Nu, dan zien we twee verschillende paradigma's: De stad van Nu is vaak hectisch en gefragmenteerd. De bewoners hebben te maken met gescheiden energiestromen en inefficiënte mobiliteit, hoge kosten voor energie en slechte bereikbaarheid van informatie. Verkeerscongestie, luchtvervuiling en geluidsoverlast zijn veelvoorkomende problemen, en er is een aanzienlijke verspilling van middelen. Sociale ongelijkheid en energiearmoede zijn zichtbaar, en veranderingen gaan vaak traag door starre structuren en regelgeving.

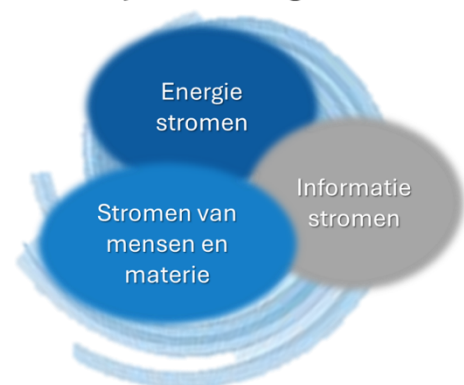
Het leven in de stad van de Toekomst is duurzaam, verbonden en efficiënt. Bewoners genieten van schone energie en slimme technologieën die naadloos geïntegreerd zijn in hun dagelijks leven. Mobiliteit is eenvoudig en milieuvriendelijk met gedeelde, autonome voertuigen en uitgebreide netwerken van lichte vervoermiddelen. Lokale gemeenschappen beheren hun eigen energiebronnen en informatie, wat leidt tot meer sociale cohesie en gelijkheid. De stad is groen en gezond, met veel ruimte voor recreatie, natuur en sociale interactie.

In dit deel zoomen we verder in op de verschillen.

De Stad van de Toekomst

In de Stad van de Toekomst zijn energie, materie en informatie volledig met elkaar verweven. Mobiele en stationaire objecten wisselen voortdurend energie en informatie uit. **Voor het functioneren van de stad zijn deze stromen een levensvoorwaarde.** Dit heeft ingrijpende gevolgen voor de maatschappelijke verhoudingen en de leefbaarheid.

Stromen zijn onderling verweven



Energie

Duurzame energie wordt uitgewisseld tussen verschillende vormen, voornamelijk elektriciteit en warmte.

Energiestromen volgen cloud-achtige⁴ structuren en passen zich aan maatschappelijke veranderingen aan. De infrastructuur waarover energie stroomt is redelijk flexibel en aanpasbaar, zodat de stad zich mee kan bewegen met de maatschappelijke ontwikkelingen.

Gebruik en opwek van energie vinden zo dicht mogelijk bij elkaar plaats, wat voordeliger is en gebruik maakt van lokale karakteristieken. Energiebuffers, zoals batterijen van elektrische voertuigen, houden het systeem in balans, ondersteund door intelligente sturing en AI. Het beheer van energiestromen ligt grotendeels in handen van de mensen zelf.

Mobiliteit

Voor de korte afstanden verplaatsen mensen zich op de fiets, step of ander lichtgewicht vervoermiddel, of ze nemen de benenwagen. Grotere voertuigen zijn zelfrijdend en vervoeren

⁴ In analogie met cloud-computing, of decentralized computing. Waar we nu voornamelijk boom- of ster-achtige infrastructuren hebben, met een centraal punt van waaruit de stromen zich steeds verder vertakken tot het point-of-use, zien we in de toekomst de rekencapaciteit dan wel levercapaciteit gedecentraliseerd en onderling aan elkaar toeleveren in netwerk-achtige structuren.

zowel mensen als goederen. Denk aan de 'vehikels' in het verhaal van de kleindochter uit deel 1 van dit essay. Voertuigen parkeren aan de rand van de stad of bij hubs en laden daar op. Ze optimaliseren routes en lading met behulp van AI en zijn geïntegreerd in het energiesysteem. Voertuigen zijn niet langer in particulier bezit; men betaalt per afgelegde kilometer.

Informatie

In de stad van de Toekomst stroomt informatie vrij tussen alles en iedereen, binnen en buiten de stad. Energie en materiële stromen worden aangestuurd door informatie, en gemeenschappen gebruiken AI om hun energie-uitwisseling te optimaliseren. Autonome voertuigen maken gebruik van AI voor navigatie, routeoptimalisatie en energiedeling.

Informatie opent nieuwe mogelijkheden en egaliseert verhoudingen. Lokale gemeenschappen werken samen met overkoepelende organen voor het beheer van grote infrastructuren en internationale verhoudingen. De verhouding tussen lokale gemeenschappen en de overkoepelende organen die werken voor het geheel is veranderd. In het verhaal van de kleindochter komt een 'centrale' voor, een 'circu-hub' en een 'buurtpalaver' met budget en besluitvormend vermogen.

Eigendom

Het zelf-organiserend vermogen van de mensen is groot door de brede beschikbaarheid van informatie en de inzet van AI. Mensen optimaliseren hun trip met AI, veel de trips zijn multimodaal. Data gegenereerd door objecten zijn eigendom van de objecteigenaar, maar de meeste data zijn vrij beschikbaar. Informatiewaarde ontstaat door combinatie van verschillende data. Informatieproducten en -diensten worden gecreëerd door burgers, burger-gemeenschappen of door marktpartijen. Gegevensbeveiliging en veilige transacties zijn een toprioriteit en worden inzichtelijk beheerd.

Sociaal-maatschappelijke verhoudingen

Lokaal eigenaarschap en toegang tot energie- en informatietechnologie hebben de sociale structuren veranderd. Gemeenschappen beschikken nu over de middelen en informatie voor zelfbeheer, wat de sociale cohesie versterkt. Gebieden zijn energetisch zelfvoorzienend en energie is voor iedereen toegankelijk en betaalbaar. Verspilling wordt vermeden omdat het anderen uitsluit en negatieve bijeffecten heeft zoals ruimtebeslag, luchtvervuiling of geluidsoverlast.

In de toekomst wordt energie tegen kostprijs gedeeld, door iedereen die dat wil, ook de sociaal zwakkeren. Grote bedrijven zoals bigtech en energiemaatschappijen beheersen het ecosysteem niet langer. Hun rol is overgenomen door energie- en warmtegemeenschappen, Citizens Energy Communities (CEC's). Dit zijn de nieuwe nutsbedrijven waarin gemeenten zonder winstoogmerk samenwerken met bewoners en ondernemers. Alle benodigde infrastructuur, zoals laadpalen (of liever koppelpunten), batterijen, zelfrijdende auto's, zonnepanelen, windmolens en warmtesystemen, zijn eigendom van de CEC's. Lokale gemeenschappen werken samen met overkoepelende organen voor het beheer van grote infrastructuren en internationale verhoudingen.

Leefbaarheid

De leefbaarheid van steden is aanzienlijk verbeterd. Vervoer is schoon, efficiënt en goedkoper geworden. Informatietechnologie zorgt voor een efficiënt gebruik van het wagenpark, minimaliseert de uitstoot van CO₂ en bespaart energie doordat voertuigen zijn afgestemd op de te vervoeren last. Routes zijn geoptimaliseerd en robotaxi's hebben dorpen beter bereikbaar

gemaakt. Er staan geen particuliere auto's meer voor de deur en er zijn minder auto's nodig, waardoor files en wachttijden tot het verleden behoren.

De ruimte die is vrijgekomen door efficiënter gebruik van wegen en laadpleinen wordt gebruikt voor vergroening, energiesystemen, gezondheids- en sociale functies.

Grote back-up centrales, waterstofopslag en industrieclusters bevinden zich buiten de steden. De uitstoot van schadelijke emissies is geminimaliseerd, wat bijdraagt aan een schonere en gezondere leefomgeving.

Een nieuwe markt voor toegankelijke energie heeft geleid tot lagere prijzen en een circulair systeem. Het onderwijs heeft denken, wonen en werken in levende systemen geïntegreerd in hun curricula, van basisschool tot universiteit.

De stad van Nu

De stad van toekomst is veelbelovend. Hoe anders is dat in de stad van Nu?

Energie

In de stad van Nu zijn de stromen van elektriciteit, aardgas en warmte gescheiden en stromen in één richting, waarbij ze sterachtige structuren volgen van bron naar gebruikers. Grote opweklocaties bevinden zich buiten de stad en transporteren energie via grote leidingen naar de stedelijke gebieden. Het eigendom van energieopwekking is geconcentreerd in handen van grote (vaak buitenlandse) marktpartijen.

Hoewel er voor gas en elektriciteit een levendige energiemarkt bestaat, wordt warmte voornamelijk in lock-in constructies geleverd. Warmte die bij andere processen wordt opgewekt, gaat grotendeels verloren. Warmtenetten functioneren als grote centrale verwarmingssystemen met centrale sturing. Er is een sterke lobby van energieleveranciers om hun positie te behouden. De infrastructuur is in handen van de overheid, wordt streng gereguleerd en is relatief star en traag te veranderen.

Aardgas wordt geleidelijk uit-gefaseerd en vervangen door elektriciteit, maar er is onzekerheid over de aanleg van warmte-infrastructuur door de vraag naar nieuwe marktverhoudingen en verdienmodellen.

Informatie

Informatiestromen tussen objecten zijn nog beperkt en AI is nog in opkomst. Hoewel mensen onderling veel informatie uitwisselen, wordt slechts een klein deel hiervan gebruikt voor het beheer en de verbetering van de leefomgeving. Er heerst eerder informatiechaos dan dat mensen gemakkelijk hun weg vinden. Data worden vaak door marktpartijen of overheden gebruikt zonder medeweten van de eigenaar en dienen als verdienmodel. Bij energiebeheer ligt lock-in op de loer. Vanwege (de angst voor) misbruik van data worden regels steeds strenger (AVG).

Mobiliteit

In de stad van Nu bezitten de meeste gezinnen één of meerdere auto's. Parkeerplaatsen en gescheiden rijstroken nemen een groot deel van de beschikbare ruimte in beslag. Laadpaalplaatsen en laadpleinen vragen extra ruimte. Dorpen zijn zonder auto nauwelijks bereikbaar. Goederen worden nog veel gescheiden per dienstverlener of per soort vervoerd.

Sociaal-maatschappelijke verhoudingen en leefbaarheid

Warmtemonopolisten domineren de markt. Essentiële 'deelpunten' zoals laadpalen zijn vendor-lock-ins geworden; het principe 'wie het eerst komt, die het eerst pompt' geldt. Er heerst een toenemende ongelijkheid; je moet immers geld hebben om subsidie te krijgen. In een stad als Eindhoven heeft 12% van de huishoudens moeite met het betalen van rekeningen zoals de energierekening, en dit percentage neemt toe.

Mensen hebben beperkt toegang tot informatie en het zelf-organiserend vermogen van mensen en gemeenschappen is beperkt. De auto blijft een statussymbool; SUV's, al dan niet elektrisch, zijn populair, terwijl mensen met een smalle beurs zich geen auto kunnen veroorloven. Een eigen parkeerplaats bij het huis is belangrijk en auto's domineren het straatbeeld.

Er is veel verspilling van materiaal, geld, energie en ruimte. Veranderingen gaan traag en moeizaam. Autobezit is niet voor iedereen weggelegd en energiearmoede komt voor. De kosten van woningverduurzaming zijn hoog vergeleken met bijvoorbeeld Denemarken, waardoor niet iedereen zijn woning kan verduurzamen. De CO₂-uitstoot is hoog en de meeste steden kampen met toenemende verkeerscongestie en onveilige verkeerssituaties. Het openbaar vervoer is inefficiënt, overvol of onderbezet.

Het digitale energiesysteem

In het Nu definiëren vooruitstrevende denkers uit de energiewereld zoals de [Club van Wageningen](#)¹ 'het digitale energiesysteem'. De verwevenheid tussen mobiliteit en informatie toont zich op allerlei vlakken. Van verkeersmanagement en logistieke systemen, tot de sturingselektronica in de voertuigen zelf. Dat moderne mobiliteit om niet-fossiele energie vraagt is duidelijk, maar hoe elektrische voertuigen kunnen bijdragen aan de jonge energietransitie is nog niet voor iedereen triviaal. Rijkswaterstaat en [Transform](#)¹ hebben opdracht gegeven voor een essay, met als ondertitel 'mobiliteit = energie'. Hier beschrijven we stroom voor stroom wat we als mogelijk en waarschijnlijk achten over een periode van enkele decennia voor de stad van de toekomst. En wat het effect kan zijn op de leefbaarheid en sociaal-maatschappelijke verhoudingen.

Bekijk de verschillen tussen de stad van Nu en de stad van de Toekomst in de tabel, zie bijlage 1.

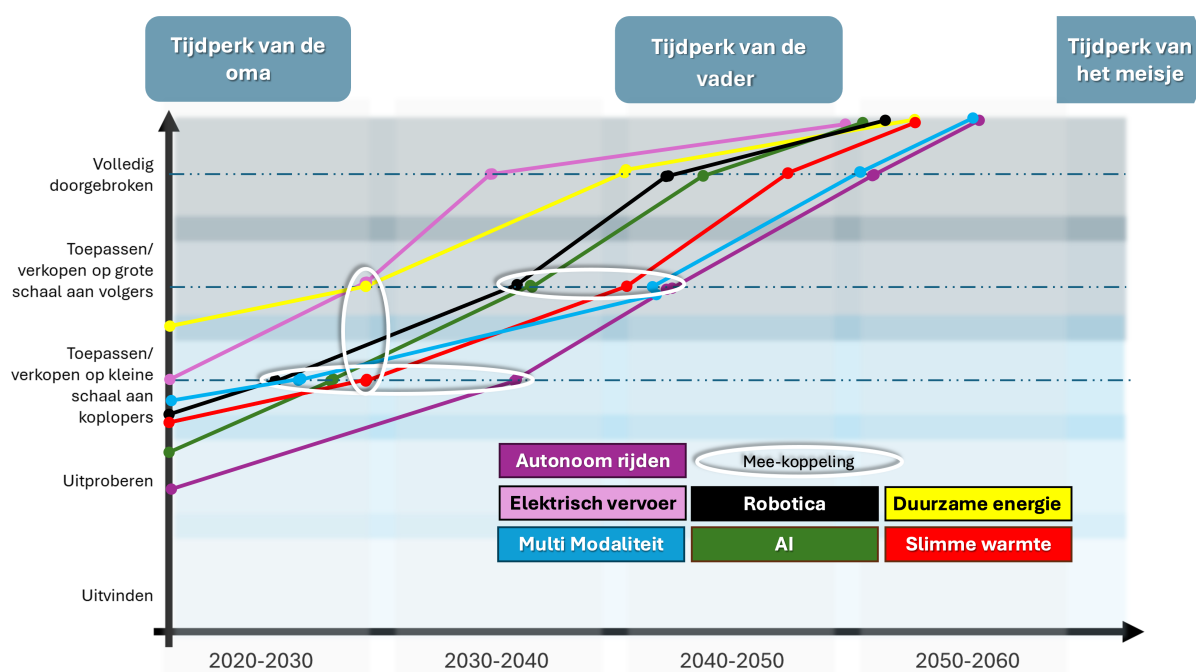
4. DRIVERS EN ENABLERS

De vraag is hoe we de transitie kunnen maken naar de stad van de Toekomst. Welke disruptieve technologieën zijn nodig, zoals kunstmatige intelligentie en autonome voertuigen. Maar ook welke sociale en maatschappelijke innovaties kunnen we inzetten, zoals burgerinitiatieven en nieuwe eigendomsstructuren. Samen vormen deze drivers en enablers de fundamenteën voor een geïntegreerde en toekomstbestendige stad. Daartegenover staan flink wat 'obstructors', die verandering tegenwerken.

Drijvende technologieën en sociale innovaties zijn de drivers en enablers achter de kanteling van paradigma

1. Nieuwe technologieën en innovaties

Nieuwe technologieën en innovaties zoals artificiële intelligentie, elektrisch vervoer, autonoom rijden, duurzame energie en robotica bepalen het tempo van de transitie.⁵ Daar waar meekoppeling tussen verschillende technologieën plaatsvindt is een versnelling te verwachten en mogelijk een kantelpunt. De vraag is hoe snel technologieën worden geaccepteerd en geïntegreerd in de samenleving. Het antwoord geeft inzicht wanneer we significante veranderingen kunnen verwachten. Onderstaande figuur toont de mogelijke penetratiesnelheden van diverse impactvolle technologieën en hoe deze elkaar kunnen versterken.



⁵ Voor een nadere beschrijving van de belangrijkste technologieën, zie Bijlage 2.

Koppelingen

Uit deze grafiek blijkt dat AI en autonome voertuigen een belangrijke koppeling vormt, waarbij AI breed wordt toegepast in autonoom rijdende voertuigen. Markant is ook de koppeling tussen AI en geïntegreerde duurzame energiesystemen ⁶. Deze koppelingen zorgen voor een versnelling van de technologieontwikkeling.

Een andere belangrijke koppeling is die van autonoom rijdende voertuigen naar multimodaliteit: het gebruik van uiteenlopende transportmiddelen binnen één reis. Autonome voertuigen maken een naadloze integratie van verschillende vervoertypen mogelijk, wat de acceptatie van gedeeld vervoer zonder eigen auto vergroot.

Slimme warmte wordt in de figuur apart weergegeven omdat het gebruik van (rest)warmte in Nederlandse steden nog in de kinderschoenen staat, maar een belangrijke rol gaat spelen in toekomstige energiesystemen.

Afvlakking

In het laatste stadium van 'volledig doorgebroken' zien we een afvlakking. Dit komt door diverse factoren. Voor voertuigen betekent dit dat alle fossiel aangedreven voertuigen uit het straatbeeld moeten verdwijnen, ook de tweede hands. Voor duurzame energie moeten alle verbrandingsmotoren en gasgestookte ovens worden vervangen. Voor AI moet geborgd zijn dat zelflerende systemen gedurende hun hele levenscyclus op het juiste niveau blijven acteren en geen maatschappelijke schade kunnen veroorzaken. Daarnaast moet multimodaal vervoer overal beschikbaar zijn en vlekkeloos functioneren.

De figuur onderscheidt drie tijdperken: het tijdperk van de grootmoeder, haar zoon en haar kleindochter. In het tijdperk van de oma beginnen de technologieën op te komen. In het tijdperk van haar zoon zorgen mengvormen van oude en nieuwe technologieën voor complexiteit en vertraging. ⁷ In het tijdperk van het meisje zijn alle technologieën volledig doorgebroken en zijn kantelpunten bereikt.

2. Sociale en maatschappelijke vernieuwing

Verschuiven sociale en politieke factoren dragen bij aan een paradigmaverschuiving. Deze factoren zetten druk op het huidige systeem en maken ruimte voor hoopgevende initiatieven die sterke kansen bieden.

Toenemende ongelijkheid

De ongelijkheid in de maatschappij groeit. Denk aan energiearmoede en de mogelijkheden om woningen te verduurzamen, maar ook aan openbaar vervoer. Vangnetten voor mensen die het niet kunnen betalen of regelen blijken onvoldoende robuust om de maatschappelijke ontwikkelingen bij te houden.

⁶ Geïntegreerde duurzame energiesystemen worden vaak onder de term '5e generatie warmtenetten' benoemd, maar zijn in wezen integrale, slim gestuurde energiesystemen waarbij collectieve energie, warmte en koelings-systemen gekoppeld zijn met gebouw specifieke opwaarderings- en afgifte systemen die in het bezit zijn van de gebouwdeigenaar.

⁷ Denk als voorbeeld aan het onderhoud van gaspijplijnen waar nog maar weinig gebruik van wordt gemaakt zodat het voor de resterende gebruikers duur wordt. Of aan door elkaar heen rijden van autonome en mens gestuurde voertuigen, waarbij beslissingsalgoritmen nooit helemaal waterdicht zijn. Of eiland-oplossingen voor het delen van warmte waardoor warmte-infrastructuur niet door de hele stad uitgerold kan worden en bronnen niet volledig gebruikt. Of onzekerheid over de mate waarin AI toepassingen op maatschappelijk geaccepteerde ethische basis werken, waardoor weerstand ontstaat.

Individuele keuzes en collectieve belangen

De keuzes worden voornamelijk gemaakt door degenen die het kunnen betalen. Deze mensen investeren vaak in individuele oplossingen, terwijl dat niet altijd de beste of betaalbaarste oplossing is voor het collectief. Bijvoorbeeld, mensen met een ruimer budget investeren in individuele warmtepompen, terwijl de gemeenschap juist meer baat zouden hebben met een betaalbare, collectieve 5^e generatie energie-infrastructuur. Of mensen met een ruimere portemonnee investeren in een lokale windmolen en krijgen daarmee de beschikking over goedkope stroom, terwijl hun minder vermogende burens de hoofdprijs betalen bij hun energieleverancier.

Klimaatverandering

Klimaatverandering brengt verschillende risico's met zich mee, zoals verzakkingen, overstromingen, verdroging en hittestress. Binnen Nederland zijn de risico's voor het ene gebied anders dan voor het andere, maar de impact zal waarschijnlijk overal gevoeld gaan worden en kan leiden tot onverzekerbare schade, waardevermindering van woningen en zelfs gedwongen verhuizingen. Klimaatverandering kan ook grote migratiestromen veroorzaken, waar welvarende landen defensief op reageren (met beperkt succes).

Populisme en onvrede met de overheid

We zien een opkomst van populistische partijen, waarbij het dragen van regeringsverantwoordelijkheid moeilijk kan liggen evenals het vastpakken van complexe en zware kennis-inhoudelijke onderwerpen. Dit leidt tot onvrede met de overheid omdat de gevestigde orde niet meer voldoet. Hierdoor wordt een reset in de verhouding tussen overheid en burgers noodzakelijk.

Marktpartijen en onzekerheid

Marktpartijen wachten vaak op duidelijkheid van de overheid en schakelen laat in, of blijven hangen in het huidige paradigma. Dit vertraagt de transitie naar een duurzamer systeem.

Tegenover de bovengenoemde drivers die druk op het systeem zetten, staan sterke positieve initiatieven die de transitie ondersteunen en aanjagen:

Opkomende burgerinitiatieven

Terwijl politiek, overheid en gevestigde marktpartijen moeite hebben op tijd te schakelen, zien we een sterke opkomst van burgerbewegingen. Zij trekken overheidstaken naar zich toe, vullen gaten waar marktpartijen tekortschieten en zoeken wrijving met de overheden. Ze starten vaak lokaal, maar werken steeds meer samen op nationaal niveau. Op landelijk niveau ontstaan de eerste koepelorganisaties die de lobby richting de rijksoverheid ter hand nemen.

Onderwijsinstellingen

Universiteiten en scholen treden buiten hun gevestigde kaders en richten hun kennis en opleidingsprogramma's op de grote transitie.

Startups

In alle mogelijke segmenten ontstaan startups die bijdragen aan de transitie.

Bedrijven in de bouw en installatie

Koplopers in de bouw- en installatiesector begrijpen de veranderingen die nodig zijn en werken samen met burgerinitiatieven voor grootschalige projecten zoals zonneparken en windmolens.

Bedrijven in de energietransitie

Voor veel bedrijven was energie in het verleden een gegeven. Als je meer nodig had vroeg je dat aan en het was goedkoop dus je hoefde je er maar beperkt druk over te maken. Dat is sterk veranderd. Energie is veel duurder geworden, en klanten, aandeelhouders en overheden eisen een transitie naar een niet-fossiele energievoorziening. Elektrificatie van processen is nodig, maar nu loopt iedereen tegen het probleem van congestie aan. Het net is vol, uitbreiding gaat langzaam en nieuwe bedrijven kunnen de komende jaren geen aansluiting krijgen. Deze ontwikkelingen zorgen ook weer voor innovatieve oplossingen.

Innovatieve oplossingen voor energie

De nieuwe realiteit stimuleert samenwerking en innovatieve oplossingen. Bedrijven op industrieterreinen delen hun totale **energieaansluiting** en **optimaliseren** het gemeenschappelijk gebruik door niet alle apparaten tegelijk aan te zetten en het verbruik te spreiden.

Lokale energieopslag in **batterijen** is in opkomst. Het gebruik van **variabele tarieven** en verbruiksvoorspelling, eerder gangbaar bij grootgebruikers, wordt nu steeds meer toegepast bij andere bedrijven.

Datacenters overwegen meer gedecentraliseerd te werken. Dankzij steeds snellere optische communicatie ontstaan er virtuele datacenters, waarbij de restwarmte lokaal beschikbaar komt voor verwarming.

Elektrificatie van productieprocessen levert de meeste voordelen op als je naar nieuwe processen gaat. Dit heeft grote impact op bedrijven. Waar mogelijk worden processen die zeer hoge temperaturen vereisen vervangen.

Op dit vlak is er een enorme hoeveelheid innovatie gaande, zowel bij grote bedrijven als bij startups: van onkruid wiedende robots met lasers tot supersnelle flowreactors. De uitdaging zit vooral ook in het productierijp maken van al die ideeën. Het eindresultaat is vaak een goedkoper en beter proces dan het fossiele alternatief, maar de weg erheen is de uitdaging.

3. Wees alert op obstructors

Lobby van gevestigde spelers

De gevestigde spelers, zoals energieleveranciers (die steeds meer energiehandelaren worden), grote fossiele energiemaatschappijen en de autolobby ⁸ kunnen de stap naar innovatie moeilijk maken. Zij lobbyen vaak om de status quo te behouden, wat de overgang naar duurzamere systemen belemmert.

Lock-in door marktfalen

Dat er marktpartijen zijn die unieke producten en diensten aanbieden en hun intellectueel eigendom beschermen is geen probleem. Het leidt pas tot lock-ins als hiermee gedwongen winkelnering ontstaat. Denk aan laadpaal lock-ins en warmteleveranciers.

⁸Quote van Wout Zellenrath: "Een mooie uitspraak in dat kader vind ik: 'De opkomst van elektrisch vervoer is niet de redding van het klimaat. Het is de redding van de auto-industrie'. Met andere woorden: om de slag naar 'vehikels' te maken is een hele andere manier van denken en wellicht ook van infrastructuur nodig. We moeten de auto als basis loslaten."

Lock-in als gevolg van tijdsdruk

Internationale verdragen en steeds beter inzicht in de enorme effecten van klimaatverandering verhogen het gevoel van urgentie. Er worden stevige tijdslijnen en deadlines afgesproken, noodzakelijk om in beweging te komen. Maar zolang we tegelijkertijd binnen het bestaande paradigma blijven acteren, vergroot dit de kans op een ander type lock-in: gevangen blijven in het denken van nu en op het ingeslagen pad blijven voortgaan ("pad-afhankelijkheid"⁹). Dit kan resulteren in maatregelen die averechts werken of nadelige bijeffecten hebben, zoals marktpartijen die wachten op overheidssubsidies in plaats van zelf te innoveren.

Overheden komen moeilijk los van het huidige paradigma

Organisatie en inrichting zijn gericht op specialisaties en bestaande vakgebieden. Dit leidt tot sterke verkokering en segmentatie in denken en doen. Er is een gebrek aan hoogwaardige vernieuwende kennis. De rijksoverheid legt de bal vaak neer bij gemeenten, ook middelgrote en kleine, terwijl wetten en regelgeving achterlopen op de realiteit. Netbeheerders worden sterk gestuurd op verouderde taakstellingen en kunnen nauwelijks innoveren.

Hardnekkige ideeën over warmte

Over warmte bestaan hardnekkige ideeën: dat je warmte naar gebouwen transporteert met water in hoge temperatuur door dikke geïsoleerde pijpen. Of dat warmte alleen ontstaat door iets op hoge temperatuur te verbranden. Of dat restwarmte niet belangrijk is. Of dat je voor lage temperatuur verwarming altijd vloerverwarming nodig hebt. Deze ideeën staan verandering in de weg.

Netbeheerders komen moeilijk los van het huidige paradigma

Rigide ideeën over de elektriciteitsinfrastructuur: Batterijen en intelligente sturing worden nog niet gezien als integraal onderdeel van de infrastructuur. Het huidige netbeheer richt zich alleen op transport met het uitgangspunt "altijd kunnen leveren". Het doorgeschoten marktdenken zorgt ervoor dat elk component in het systeem door een marktpartij moet worden geleverd en geëxploiteerd, zonder binding met het systeem.

Grootschalige investeringen in centrale infrastructuur: Netbeheerders investeren massaal in de verzwaring van centrale elektriciteitsinfrastructuur zonder rekening te houden met opkomende decentrale structuren. Dit wordt ingegeven door de gedachte dat individuen en industrieën in de toekomst volledig elektrisch zullen zijn. Echter, deze aanpak leidt tot een veel hogere piekbelasting van het net, wat inefficiënt is. Slim delen, lokale opwekking en stabilisering kunnen efficiënter zijn. Door enkele miljarden te investeren in slimme inrichting, zou dezelfde 240 miljard euro een factor 5 verzwaring kunnen realiseren in plaats van een factor 2-3.

⁹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Padafhankelijkheid>

Het oplossen van netcongestie als doel stellen: Het oplossen van netcongestie wordt gezien als het einddoel, terwijl dit slechts een stap is naar een nieuw systeem. De visie op distributie en transport van energie moet herzien worden. Er oplossingen bedacht om piekbelastingen op te vangen, zoals holons (lokale netwerken) en pockets (geïsoleerde segmenten in het energienetwerk). TenneT denkt al na over de inzet van pockets.

Netcongestie is een hobbel op de weg naar het nieuwe systeem, maar moet geen doel op zich worden waarbij we na het oplossen van congestie denken dat we klaar zijn. Netcongestie kan daarbij wel juist een aanjager zijn voor vernieuwing.

Het idee dat energy hubs de netcongestie kunnen oplossen, is te beperkt en vraagt om een bredere visie op het transport en de distributie van energie.

Door deze rigide en verouderde denkbeelden te herzien en te vervangen door flexibele en adaptieve strategieën, kunnen netbeheerders beter inspelen op de veranderende energiebehoeften en bijdragen aan een duurzamer energiesysteem.

5. AANBEVELINGEN VOOR MORGEN

De kunst van het oppakken, mee-koppelen en innovatie ontlokken

Inspirerende voorbeelden

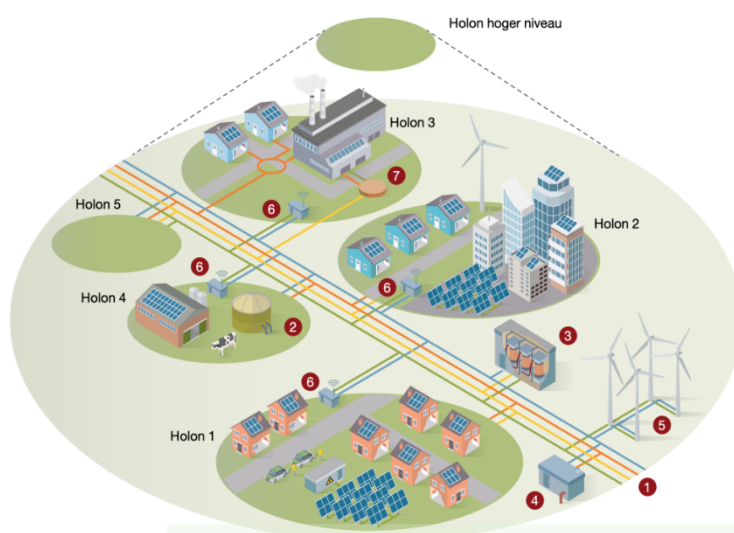
Inspirerende voorbeelden om schaarste en knelpunten te overwinnen en innovatie te stimuleren:

- A16-aanpak¹⁰ voor de ontwikkeling van 28 windmolens langs de A16: hierin zien we dat omdenken en integraal bekijken essentieel zijn. De overheid bepaalt de locaties (ruimtelijke kwaliteit) en het systeem (in de A16 aanpak is dit deels gelukt). Lokaal eigendom is als ontwerp meegenomen in de aanpak, waarbij gebiedsgericht werken cruciaal is. De markt wordt uitgenodigd om onder voorwaarden mee te doen.
- Programma Sociale Innovatie in de Energietransitie (SIE): hierin is onderzocht hoe de samenwerking tussen overheid, inwoners en marktpartijen versterkt kan worden. Zie publicatie '[Waar een wil is, is een weg of een omweg](#)'.
- Ruimte voor energie: ruimte is meest schaarse goed in de stad. Klimaatverandering vraagt om slimme stadsplannen die zowel de ondergrond als bovengrond meenemen en het gebruik van gevels en daken.
- Energiecoöperaties: particulieren verenigen zich in energiecoöperaties, experimenteren met buurtbatterijen en energie delen, investeren in windmolens en (collectieve) PV-systemen. In toenemende mate vernetten zij zich tot sterke regionale verbanden met investeringsvermogen.

Ontwikkel holons

Een holon is een autonome eenheid, die zelf energie kan opwekken, opslaan en beheren, maar die tegelijkertijd onderdeel is van een groter energiesysteem. Dit kan variëren van individuele huishoudens tot hele steden. De holons zijn met elkaar verbonden. Als de energie niet meer lokaal gebruikt of opgevangen kan worden, gaat deze naar buiten naar andere holons. Het denken in holons begint bij de geografische nabijheid van actoren en objecten, vergelijkbaar met levende systemen.

Ook vervoer kan op deze manier behandeld worden, maar dat is nog wat verder weg. De gemeenschap maakt zich geleidelijk los van individueel eigenaarschap van vervoersmiddelen, neemt mentaal eigenaarschap over vervoersefficiency en belasting van de grote stromen buiten de holon. Delen van vervoersmiddelen, inzetten van intelligentie op gemengd en multimodaal transport komt in beeld. De



Afbeelding: visualisatie van holons.

Bron: Topsector Energie

¹⁰ www.energiea16.nl

gemeenschap neemt de verantwoordelijkheid voor goed beheer van de holon en de zwakkeren binnen de gemeenschap.

- Niveau 1 holons: Dit zijn huishoudens, winkels, kantoor- en bedrijfsgebouwen. Ze kunnen elektriciteit, warmte/koude en data genereren. Ze kunnen een eigen buffer hebben en zijn bi-directioneel gekoppeld aan stromen van elektriciteit, warmte, vervoer en informatie. Dit moet technisch, wettelijk en praktisch mogelijk gemaakt worden.
- Niveau 2 holons: Dit zijn buurten, wijken, industrieterreinen, winkelcentra, sportcomplexen, stedelijk natuur- en recreatiegebieden, verkeershubs of kantorenwijken. Dit niveau staat centraal in het denken over holons.
- Bovenliggende niveaus zijn de stad (niveau 3), de regio (niveau 4) en het land (niveau 5).¹¹
 - Maak duidelijk hoe elk niveau 2 holon interacteert met de grote stromen die door de stad/regio lopen (vervoerstromen, energiestromen) en hoe die stromen zich ontwikkelen onder invloed van planologie, situationele grotere energetische ontwikkelingen, klimaat, technologische en economische ontwikkelingen.
 - Maak ook digital twins van de niveau 3-, 4- en 5-holons en bekijk de koppelmogelijkheden met de digital twins van de lagere niveau holons.

Gemeenschap wordt mede-eigenaar

De gemeenschap wordt mede-eigenaar van de niveau 2-holons. Dit betekent dat zij medeverantwoordelijk zijn voor de uitdagingen en de kansen in hun gebied. Dit kan worden bereikt door de gemeenschappen bewust te maken van de mogelijkheden en ze ruimte, middelen en mogelijkheden te geven.

Hierbij zijn de gebiedskarakteristieken van de holon leidend. Denk aan:

- de sociale gemeenschap (eigendomsverhoudingen, cohesie, welstand, machtsverhoudingen)
- de energetische karakteristiek (opwek, afname, buffermogelijkheden, warmtebronnen, elektriciteit systeem)
- ontwikkeling van mobiliteit (penetratie elektrisch vervoer, OV, nabijheid treinstation, multimodaliteit, zwaar vervoer, scheep- en luchtvaart),
- planologische ontwikkeling (verdichting, transformatie, kansen en behoeften), kijk naar de ondergrond en klimaatadaptatie.

Ga aan de slag

Ga aan de slag in enkele niveau 2-holons (stadsdelen, wijken, dorpen, of bedrijventerreinen) waar meerdere knelpunten bij elkaar komen en we dus echt niet weten hoe we vooruit moeten. Zet scherpe en specifieke doelen waar de gemeenschap achter staat. Trek ruim geld uit en creëer regelvrije ruimte. Werk met interdisciplinaire teams, zet de gemeenschap voorop en zorg dat geldgebrek geen argument kan zijn om nieuwe wegen in te slaan. Stadsplanning op een nieuwe basis, alle specialismen in één team, in één ruimte.

- Agent-based simulatie: Zet in op goed werkende agent-based simulatie¹² van het gebied. Laat de gemeenschap hier zelf aan meewerken en mee werken.

¹¹ Tussen holon niveau 2 en 3 kunnen tussenniveaus zitten. Dit is voor de redenering niet relevant.

¹² [Uitleg over agent-based modellen](#)

- Digital twins: Maak een **digital twin** van elke niveau 2-holon en stel deze beschikbaar aan alle betrokkenen. Neem hierin het materiaal- en grondstoffengebruik, de menskracht en de ondergrond op in de digital twin, want dit kunnen grote belemmerende factoren worden.
- 100.000 kilometer kabel is geld, maar ook heel veel koper. Hoe ver overschrijden we de footprint van 18 miljoen Nederlanders? Optimaliseer nabijheidsrelaties zoals gebouwen, gebruik en installaties.
- Commitment: Commitment aan de zaak staat voorop. Bestaande scheidslijnen, grenzen, verantwoordelijkheden worden overboord gezet. Iedereen doet wat nodig is, niet wat mag.
- Experts: Betrek de beste experts die er zijn, om voorspellend vermogen te krijgen. Denk na over de gevolgen van toekomstige ontwikkelingen, zoals meer elektrische auto's, zonnepanelen, buurtbatterijen, warmtenetten en verrekening van energie met de buurt. Wat betekent dit allemaal voor het netwerk en de geplande netverzwaring? En wat scheelt dat in geluidsbelasting 's nachts en op straat? Kunnen we als buurt zelf onderling energie verhandelen en onze auto's met elkaar delen?
- Regelluwe ruimte: Zorg voor een regelluwe ruimte en informatie. Niveau 1 holons (huishoudens, bedrijven, etc.) moeten eigenaarschap kunnen nemen over het effect van hun investeringen en hun gedrag op zichzelf en op het geheel. Datzelfde geldt voor de gemeenschap van de holon.
- Nieuwe marktordening: Denk na over nieuwe marktmechanismen en belastingregimes om energie op te wekken, op te slaan en te delen.

Durf los te laten

Voor de korte termijn is het belangrijk om los te komen van de huidige manier van kijken:

- Laat het idee los dat de gemeente alles moet bedenken en plannen. Denk niet dat ieder voor zichzelf zorgt en de overheid voor ons allen.
- Hef de beperkingen en regulering rond elektriciteit op. Verander de opwek en distributie. Het idee dat energie alleen door bedrijven geleverd wordt, is achterhaald. Ook particulieren en ondernemers kunnen leverancier worden. In het nieuwe denken handelt iedereen met iedereen.
- Verander de ideeën over netcongestie en over warmte.
- Stel business- en verdienmodellen niet als randvoorwaarde.
- Gebruik geldgebrek niet als argument is om nieuwe wegen niet in te slaan.
- Verander de huidige taak- en verantwoordelijkheidsverdeling binnen de gemeenten.
- Denk niet dat andere wethouders, ambtenaren van andere afdelingen andere prioriteiten hebben of het toch niet snappen.
- Verander de visie op ruimtegebruik en parkeerbeleid. De parkeernorm is niet heilig.
- Contracteer topexperts buiten de traditionele inkoopmechanismen van de overheid.

Colofon

Dit essay is geschreven door specialisten die in los verband met elkaar samenwerken en zich inzetten voor de energietransitie:

- Barbara van der Ploeg, systeemdeskundige betrokken bij de energietransitie, [LinkedIn](#)
- Carol de Vries, CTO en systeemarchitect, [LinkedIn](#)
- Martijn Messing, Partner in [Turnbright](#) - aanjager – kwartiermaker, [Elke medaille heeft een keerzijde - Energie A16](#), [LinkedIn](#)
- Auke Hoekstra, directeur NEON research en Zenmo simulations, [Ons team - ZEnMo simulations](#), [LinkedIn](#).

Het essay is gereviewd door:

- Herman Eijdens, 5^e generatie District Heating and Cooling expert, directeur van Tri-Es Consultancy
- Naud Loomans, PhD energie transitie modellen bij de Technische Universiteit Eindhoven en modelleur bij Zenmo Simulations
- Wout Zellenrath, Projectmanager Energietransitie
- Marc van de Ven, adviseur ruimtelijke ontwikkeling en energie
- Erik van Stokkom, communicatiespecialist bij Ekiep

Bijlage 1: Stad van Nu versus stad van de Toekomst

(Deel 3: Stroom in een nieuw paradigma)

	Stad van Nu	Stad van de Toekomst
Energie	Gescheiden stromen van elektriciteit, aardgas en warmte.	Geïntegreerde energiestromen, voornamelijk elektriciteit en warmte.
	Energiedistributie in één richting, grote bronlocaties buiten de stad.	Flexibele energie-infrastructuur, gebruik en opwek dicht bij elkaar.
	Eigendom in handen van grote, vaak buitenlandse marktpartijen.	Beheer van energiestromen in handen van lokale gemeenschappen.
	Warmte wordt voornamelijk in lock-in constructies geleverd.	Energie wordt gedeeld tegen kostprijs, energiebuffers voor balans.
	Aardgas wordt geleidelijk uitgefaseerd en vervangen door elektriciteit.	Intelligente sturing en AI houden het hele systeem in balans.
Informatie	Bepaalde informatiestromen tussen objecten, AI in opkomst.	Vrije stroom van informatie binnen en buiten de stad, intensief gebruik van AI.
	Informatiechaos, beperkt gebruik voor leefomgevingbeheer.	AI-gebruik voor optimalisatie van energie-uitwisseling en multimodaal autonoom vervoer.
Mobiliteit	Data vaak gebruikt zonder medeweten van eigenaren, strikte regelgeving (AVG).	Informatieproducten en -diensten door burgers en gemeenschappen, veilige data.
	Meerdere auto's per gezin.	Individuele verplaatsingen met lichte vervoermiddelen, zelfrijdende voertuigen.
	Grote ruimte voor parkeerplaatsen en rijstroken.	Voertuigen parkeren aan de rand van de stad of bij hubs.
	Dorpen zonder auto moeilijk bereikbaar.	Robotaxi's
Eigendom	Goederen gescheiden per dienstverlener vervoerd.	Optimalisatie van routes en lading door AI, geen particulier bezit van voertuigen.
	Auto's en parkeerplaatsen zijn statussymbolen.	Mobiliteit is een nutsfunctie. Geen particulier autobezit.
Sociaal-maatschappelijke Verhoudingen	Warmtemonopolisten domineren, toenemende ongelijkheid.	Lokale gemeenschappen beheren energie- en warmtevoorzieningen (CEC's).
	Bepaalde toegang tot informatie, laag zelf-organiserend vermogen.	Energie toegankelijk en betaalbaar voor iedereen, energiearmoede geëlimineerd.
	Verandering verloopt traag, veel verspilling van middelen.	Efficiënt gebruik van middelen, snelle aanpassing aan veranderingen.
	Verkeerscongestie, onveilige situaties, inefficiënt openbaar vervoer.	Schone en efficiënte mobiliteit, betere bereikbaarheid van dorpen, minimale CO2-uitstoot.
Leefbaarheid	Hoge CO2-uitstoot, veel verkeerscongestie.	Verbeterde leefbaarheid, vergroening en gebruik van vrijgekomen ruimte.
	Inefficiënt, overvol of onderbezet openbaar vervoer.	Geoptimaliseerde routes, minder voertuigen nodig, geen files of wachttijden.
	Hoge kosten voor woningverduurzaming, energiearmoede.	Onderwijs over levende systemen geïntegreerd in curricula, duurzame steden.

Bijlage 2: Technologieën nader beschreven

(Deel 4: Drivers en Enablers)

AI-systemen zijn bezig aan een onstuitbare opmars, variërend van kleinere toepassingen voor analyse en patroonherkenning tot grote systemen zoals ChatGPT en optimalisatiesystemen voor energiestromen of verkeerstromen. Ze zitten straks in iedere mobiele telefoon, maar gaan ook een centrale rol spelen in “slimme” steden. Eigenaarschap en transparantie van deze systemen worden cruciaal, aangezien grote techbedrijven hier massaal op inzetten.

Robotica. Onderdeel van de robotica zijn mechatronische systemen die productieprocessen ondersteunen. Soms werken ze samen met mensen (“cobots”). Deze systemen gebruiken sensoren om hun werk te doen. Daardoor kunnen ze precisiewerk uitvoeren, zoals oogsten en wieden en bijvoorbeeld afval scheiden. Autonome voertuigen vallen ook onder robotica.

Autonoom rijden. Hoewel de hype rond autonoom rijden nog niet is waargemaakt, blijven de ontwikkelingen doorgaan. Er zijn ‘levels’ gedefinieerd om aan te geven hoe autonoom de auto kan rijden. Zo rijdt een auto met level 5 volledig zelfstandig. De huidige stand van zaken is level 2, waarbij de auto de chauffeur ondersteunt, bijvoorbeeld met afstand houden en remmen. De verwachting is dat het tot 2040 zal duren voordat er volledig zelfrijdende auto’s op de openbare weg mogen. Dit komt ook omdat we van zo’n auto verwachten dat die het beter doet dan een menselijke chauffeur. Maar de komende tien jaar zullen we wel een toename zien van autonome voertuigen in “gesloten” gebieden die minder complex zijn. Denk hierbij aan logistiek, mijnbouw en vliegvelden. En vergeet intussen de drones niet! Robotaxi’s zullen ook een sterke bijdrage leveren aan zowel autonoom rijden als aan multimodaal transport.

Multimodale mobiliteit. We verplaatsen mensen van tachtig kilo in auto’s van twaalfhonderd kilo. Dat is kostbaar en niet efficiënt. Daarbij komt bij dat de auto’s almaar zwaarder worden. Er is sprake van autobesitas. De SUV is ongekend populair en veel elektrische auto’s wegen al over de tweeduizend kilo. Voor de stedelijke omgeving is dit een groot probleem.

Mobiliteit is een fundamentele behoefte, maar kan het ook anders? Veel heeft te maken met het verhogen van de zekerheid van het reizen. Als je informatie zou hebben op je mobiele telefoon over de precieze vertrektijden van betrouwbaar openbaar vervoer en de beschikbaarheid van een huurauto of fiets aan de andere kant, zou dat veel prettiger zijn. Voor korte afstanden zou een compact en licht elektrisch vervoermiddel een uitkomst zijn.

Al deze ontwikkelingen beginnen we nu te zien. Er komen steeds meer apps voor OV, deelauto’s en dergelijke. De integratie en betrouwbaarheid zijn nog wel een issue.

We gaan een breder scala aan vervoersmiddelen zien: elektrische fietsen, scooters en steps zijn er al, al dan niet deelbaar. Omdat veel mensen binnen tien tot vijftien kilometer van hun werk wonen, zijn deze interessant. Een step van vijftien kilo om een persoon van tachtig kilo te vervoeren is veel efficiënter en goedkoper dan een auto. Of je neemt straks een robotaxi. Die rijdt het grootste deel van de tijd en heeft dus geen parkeerplaats nodig. Denken we verder in de toekomst, dan verdwijnt de behoefte aan privé autobezit. Wat past in een groenere en compactere stad.

Energie, wat gaat daar gebeuren?

We moeten overstappen naar duurzame energie om klimaatverandering tegen te gaan. Veel mensen realiseren zich niet dat duurzaam opgewekte energie inmiddels goedkoper is dan fossiele brandstoffen. Dit zien we nog niet terug op onze energierekening, want de prijs van duurzame energie is gekoppeld aan fossiele prijzen. Bezitters van zonnepanelen merken al wel

een flinke daling van hun kosten. Organisaties als IEA en IRENA verwachten dat zonne-energie tegen 2050 met een factor 2-8 goedkoper zal worden, en windenergie 2-3.

Innovatie blijft doorgaan. We kunnen op steeds meer plekken energie opwekken. Naast grootschalige opwekking kunnen we dus lokaal ook steeds meer energie produceren. Dit is efficiënt, veroorzaakt minder congestie en verhoogt de netwerkstabiliteit.

Ons netwerk verandert naar een systeem met wisselende en gedistribueerde opwekking (zon, wind) en toenemende elektrificatie door warmtepompen, elektrische voertuigen en industriële processen. Dit zorgt voor variatie in verbruik, waardoor zowel netwerkverzwaring als stabilisatie belangrijk is. Eerst moeten we lokaal opgewekte energie lokaal gebruiken, zowel thuis als door bedrijven die hun verbruik op elkaar afstemmen. Slim besparen is essentieel.

Opslag is nodig voor een stabiel systeem. Dit varieert van lokale opslag thuis tot buurtbatterijen en grote systemen op middenspannings- of hoogspanningsniveau. De auto wordt gezien als een rijdende energiecentrale, goed om pieken op te vangen. Discussies over buurtbatterijen en de opkomst van thuisbatterijen nemen toe. Hoewel batterijen nog duur zijn (500-700 €/kWh), daalt de prijs van LFP-batterijcellen (zonder omvormer) naar 100 €/kWh en zal verder dalen. In 2040 wordt de prijs voor batterijopslag waarschijnlijk minder dan een halve cent per kWh die een huishouden nodig heeft.

Nieuwe batterijsystemen komen op. Vanaf 2027 verwachten autofabrikanten solid state-batterijen in te bouwen. Deze hebben een hogere energiedichtheid en zijn onbrandbaar. CATL en Northvolt werken daarnaast aan een goedkope zout (natrium) batterij. Batterijtechnologie ontwikkelt zich snel en dit zal doorgaan. Dit betekent dat zon en wind in de toekomst probleemloos en tegen lage kosten gebufferd kunnen worden.

Seizoensopslag is in ontwikkeling en relevant voor regio's als Nederland. Vanaf 2040 verwachten we seizoensopslag met waterstof, methanol, ammonia of ijzerpoeder. Hoewel dit relatief duur blijft, is slechts 10% van de energie nodig voor seizoensopslag, waardoor de systeemkosten vanaf 2050 met minder dan 1 cent per kWh zullen toenemen.

Warmte en warmtebuffers. Ongeveer de helft van ons energiegebruik gaat op aan warmte, vooral "laagwaardige" warmte (<100°C) voor het verwarmen van huizen en gebouwen. Dit soort warmte is een bijproduct van bijna alle industriële processen, maar wordt grotendeels verspild. Gratis energie dus, als je het op de juiste plek weet te krijgen. Alle datacenters rond Amsterdam wekken genoeg warmte op om de stad te verwarmen, maar ze staan op de verkeerde plaats.

Dit verklaart ook de complexiteit van het introduceren van warmtenetten. Zowel stromen van materie als informatie zijn adresseerbaar. In A is voorraad, in B behoefte: er gaat een zending van A naar B. Veel energiestromen zijn (nog) niet adresseerbaar. Ze moeten altijd binnen handbereik zijn voor als we het nodig hebben. Naar verwachting zullen de komende jaren oplossingen worden gegenereerd om 'pakketjes' energie te versturen.¹³

De belangstelling voor warmte neemt toe en 5^e generatie warmtenetten maken een veel efficiënter hergebruik van warmte mogelijk. Daarnaast groeit het besef dat individuele warmtepompen dezelfde nadelen hebben als airco's: woningen met airco's verfraaien het stadsbeeld niet en ze maken geluid. In dicht stedelijke gebieden moet je naar andere

¹³ Quote Herman Eijdens: "Materie komt in 'pakketjes', in een afgekaderd doosje en we plakken er een etiket op met een adres. Informatie hebben we zo georganiseerd dat het ook in pakketjes komt en geadresseerd kan worden. Energie lijkt vaak in een ongecontroleerde stroom te komen, niet afgekaderd en niet adresseerbaar. Ik denk dat we in de toekomst uitvinden, hoe we pakketjes energie maken en daar een etiketje op kunnen plakken. Dat is van belang omdat de ene energie de andere niet is. Energie 'verdunt', maar raakt niet verloren (1ste hoofdwet). De vraag is hoe we verdunning tegen kunnen gaan. Door pakketjes energie op het juiste niveau te adresseren en af te leveren waar de betreffende kwaliteit nodig is (2de hoofdwet), bereiken we een enorme besparing in energieverbruik."

(gemeenschappelijke) voorzieningen. Daarnaast zou je warmte willen opslaan. Overdag schijnt de zon maar 's avonds wordt het koud. Ook hier zijn veel ontwikkelingen. Om te beginnen zijn zonnecollectoren of PVT een volwassen techniek om warm water te maken, maar er is wel ruimte nodig voor een boiler. Grootschalig warmte opslaan in heet water is inmiddels bekend, effectief en veilig, maar vergt veel ruimte (bijvoorbeeld HocoSto). Het is ook mogelijk om energie thuis op te slaan in geïsoleerde buffers in bijvoorbeeld de kruipruimte (Hydrobag, Borg). Een heel andere methode is gebruik maken van *phase changing* materialen. Bij een faseovergang wordt veel energie opgeslagen of vrijgegeven, zoals bij het bevriezen van water. Er is inmiddels een bedrijf dat hier gebruik van maakt (Solar Freeze). Voor het opslaan en vrijgeven van warmte zijn ook andere materialen te gebruiken zoals verschillende soorten zouten en paraffines. In opgeslagen toestand is dit stabiel, dus geen energieverlies. Er zijn ook systemen die warmte opslaan in muren of plafonds, waarbij de energie later voor verwarming gebruikt kan worden.

Technologie om de ondergrond te doorgronden. Dit lijkt misschien een wat vreemde eend in de bijt, maar het is essentieel te weten wat er in de ondergrond zit. Gedurende de transitie ontstaat een exponentiële verdichting van de stedelijke ondergrond voor watermanagement, vergroening en elektriciteit, data en energie (elektriciteit, warmte en koeling) en infrastructuur met buffers. Stadsplanologie staat of valt met het goed kunnen inschatten wat waar kan komen in de ondergrond. Technologische ontwikkeling van grondradars staat naast de ontwikkeling van kennis en technologie voor geothermie.