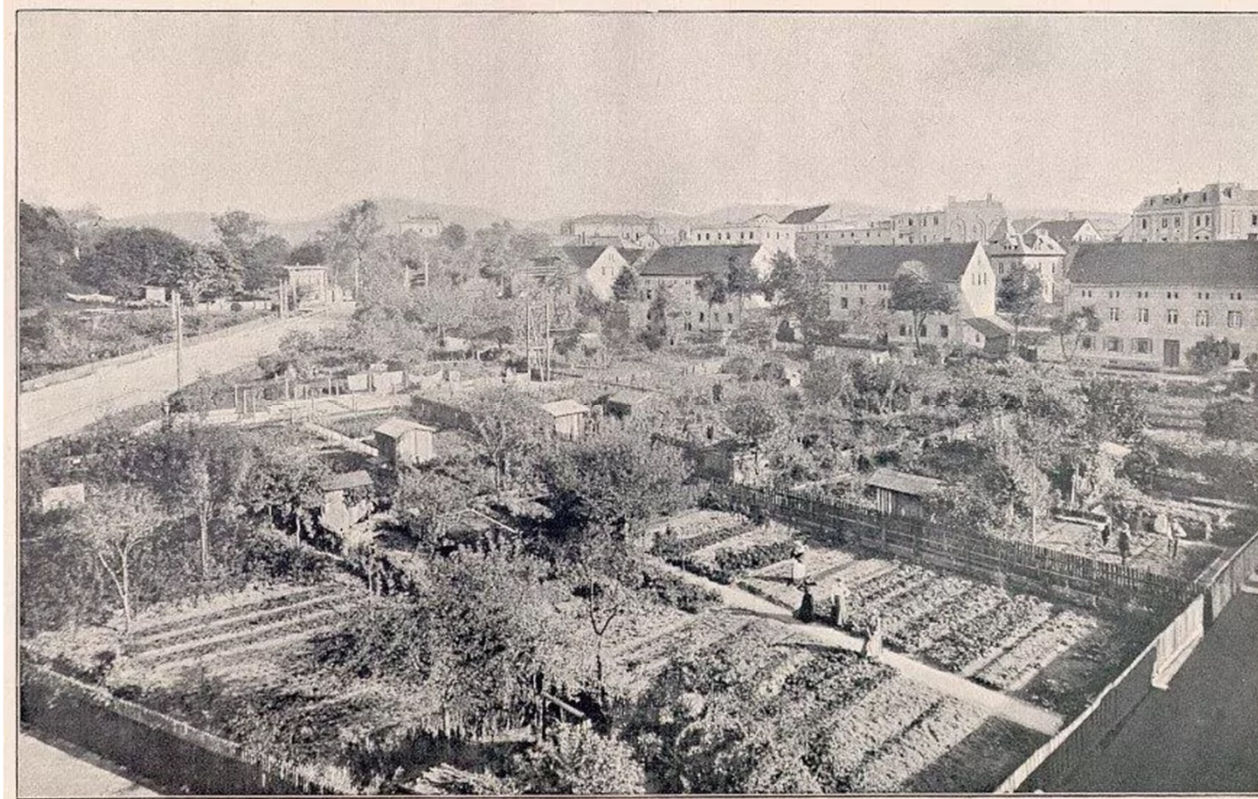




Neue Produktionskapazitäten in urbanen Räumen?

Nahrungsmittelproduktion in Städten

- Industrialisierung:
Versorgung und soziale
Integration
- Gartenstadtbewegung
- Notzeiten: Z.B. Kriegsgärten,
Victory Gardens (US), „Dig
for victory“ (UK)



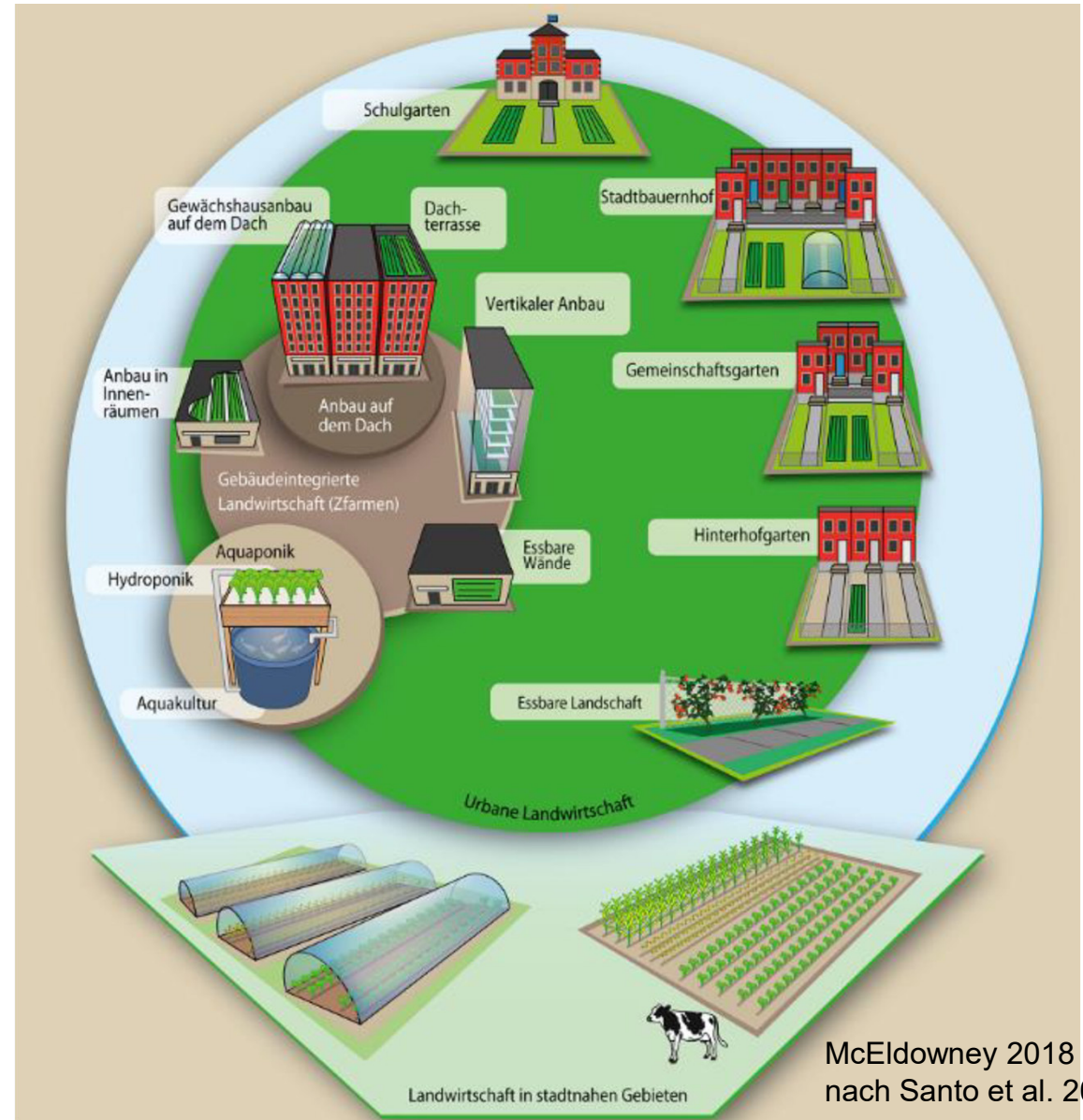
Arbeitergärten in Waldenburg, Schlesien, um 1900

FESTSTELLUNGEN ÜBER DEN KRIEGSGEMÜSEBAU

Bezeichnung des Grundstückes	Größe in qm	Bodenart	gedüngt	Womit?		Vorjährige Kultur 1943	Diesjährige Kultur 1944	Vorschläge für Kulturen 1945			Pflanzung Letzter Tag	Vorschläge für Kulturen 1946		
				Natur-D.	KUNST-D.			Zwischenkult. sind bei der jeweiligen Kult. aufzuführen	Hauptkultur	Nachkultur		Vorkultur	Hauptkultur	Nachkultur
Berggarten 1/1 Sojane u. Äpfel 1100 m ²														
Fläche 2	900-900	saugig	ja	Kieselflamm	-	Spinat, Runkeln	Spinat, Runkeln	saugig, Spinat	Spinat, Runkeln	-	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Mangold 900 m ²	-
3	6500-5270			Heideflamm	-	fohlen, Gurken, Zucchini	Zucchini, Gurken	-	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	3. 1. 1945	Salat ca 900 m ²	Reichlich 900 m ²
4	1750-8-505				-	Kohl, Tomaten	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	-	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
5	1000-3-560			Kieselflamm	-	Spinat, Runkeln	fohlen, Gurken, Äpfel	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
6	1400-7-455	saugig, saftig		Heideflamm	-	Roggen	Johanniskraut, Äpfel	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
7	2400-3-350				-	Cartoffeln, Roggen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
8	2400-3-350				-	Cartoffeln, Roggen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
9	1000-6-740				-	Roggen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
10	4300-4-455				-	Roggen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
11 M	2000-25-780			Kieselflamm	-	Spinat, Runkeln	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
12	1000-4-750				-	Roggen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
13	800-5-592			Heideflamm	-	Spinat, Runkeln	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
14	1050-2-437			Kieselflamm	-	Zucchini, fohlen	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
15	1000-0-023			Heideflamm	-	Kohl, Salat, Äpfel	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
16	3000-3-450			Kieselflamm	-	Äpfel	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-
17	425-425				-	Cartoffeln	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	fohlen, Gurken	1. 1. 1945	1. 1. 1945	Erbsen	-

Urbane Landwirtschaft

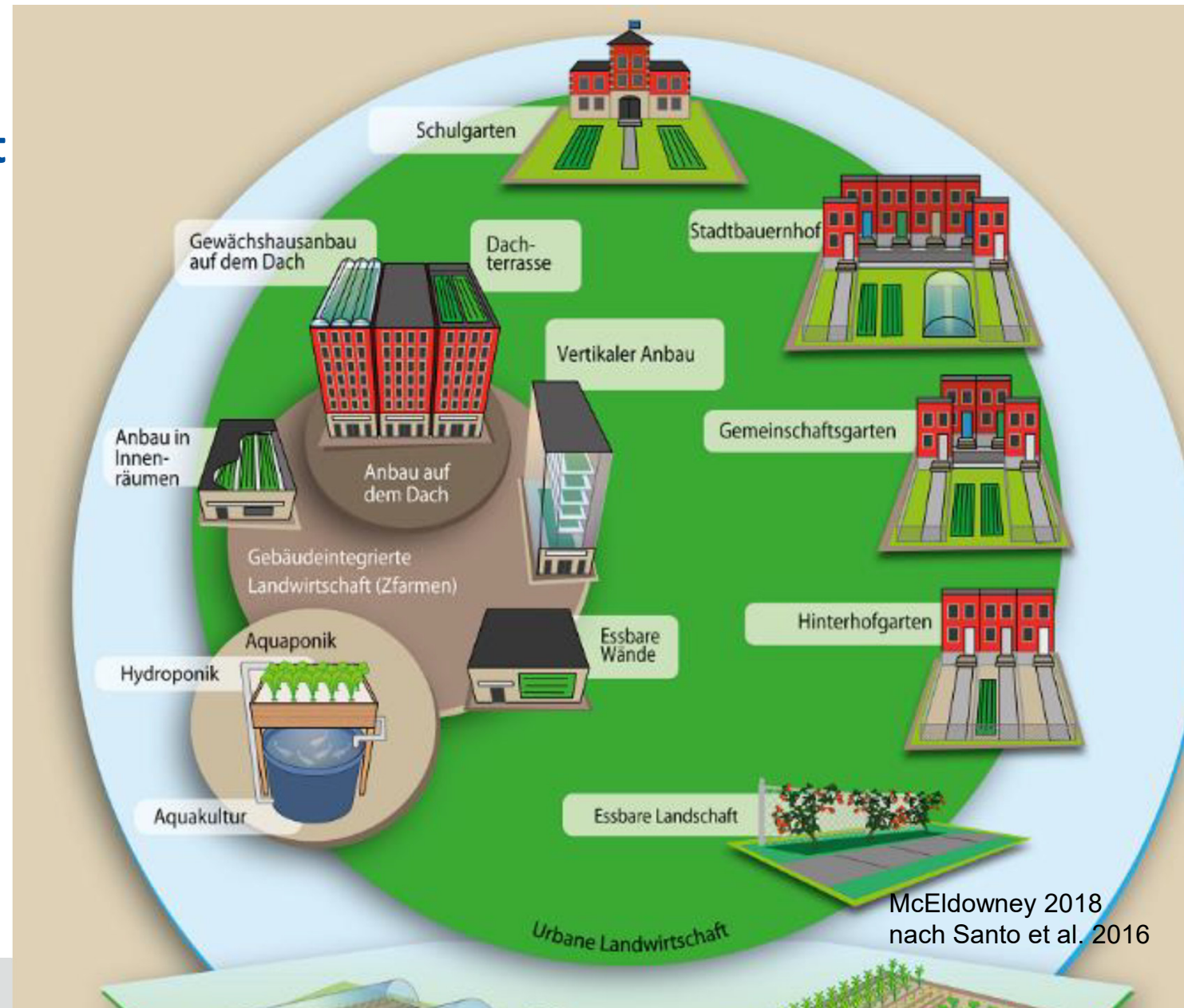
- Vielfältig



McEldowney 2018
nach Santo et al. 2016

Urbane Landwirtschaft

- Vielfältig
- Polyvalent



Erwartungen

- **Autarkie**, z.B. Gemüse
- **Versorgung** mit regional produzierten hochwertigen Nahrungsmitteln
- **Artenreiche** Kulturlandschaft mit standortangepasster Bewirtschaftung
- Landwirtschaftlich genutzte Räume für **Naherholung**
- Erhöhung der **Wertschätzung** der Nahrungs- und Futtermittelproduktion
- **Umweltbildung**: Erfahrungsraum für Kinder und Erwachsene
- Freihaltung von **stadtklimarelevanten** Kaltluftentstehungsgebieten.

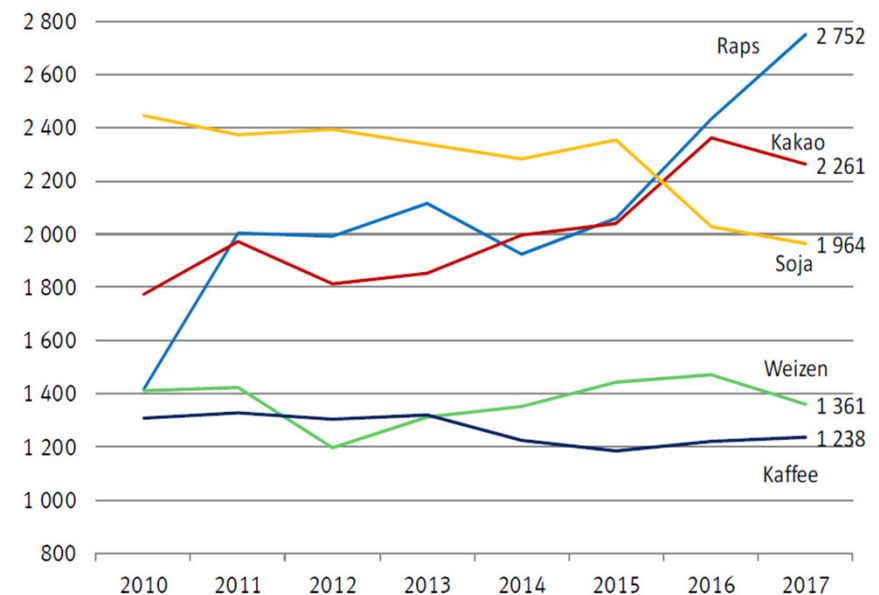
Flächenbelegung für Ernährungsgüter pflanzlichen und tierischen Ursprungs 2017 (1000 ha)

Landwirtschaftlich genutzte Fläche

- Futterpflanzen	9 552
- Pflanzliche Ernährung	4 497
- Energiepflanzen	2 014
- Industrielle Verwendung	307
- Stillgelegte Flächen, Brache	318

Inlandsverbrauch von Ernährungsgütern

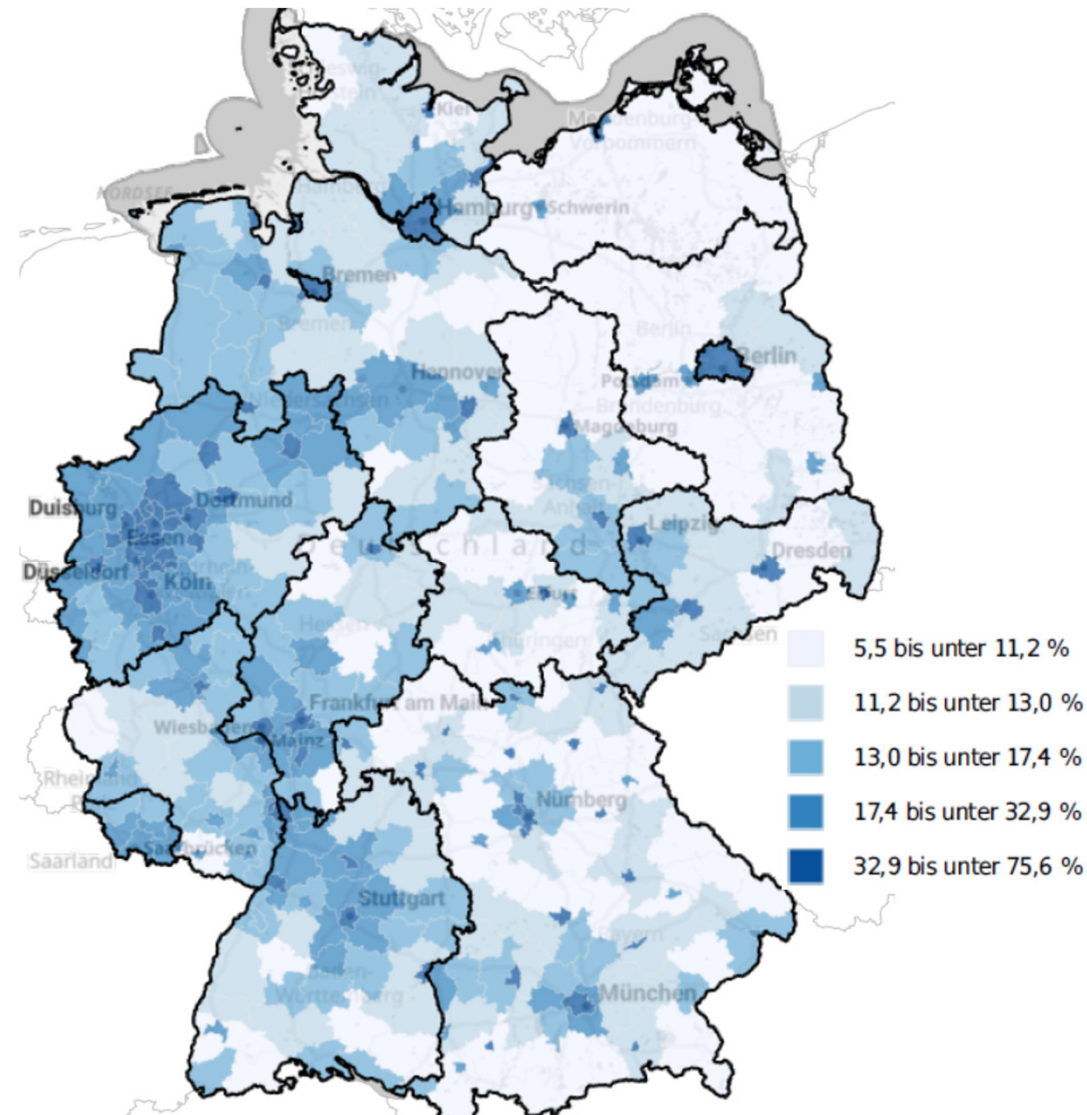
- tierischen Ursprungs	11 632
- pflanzlichen Ursprungs	7 450



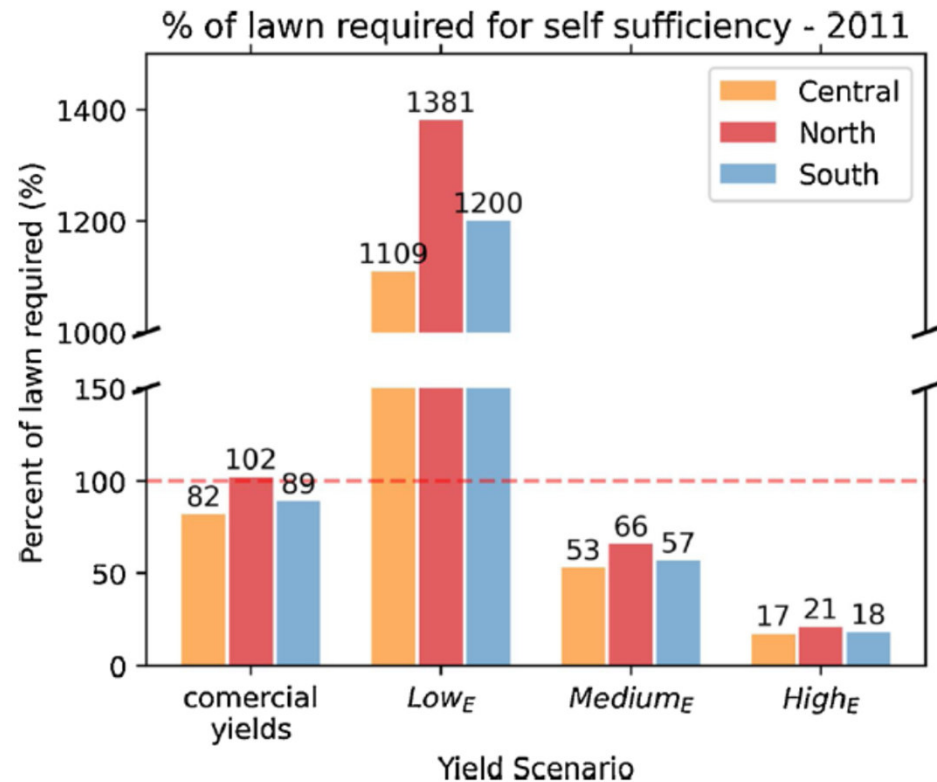
Anteil Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche 2024

Gesamtfläche	35 768 293 ha
Siedlungsfläche	3 393 402 ha
Verkehrsfläche	1 813 975 ha
Gartenfläche (NABU*)	680 000 ha
Schrebergartenfläche (BKD*)	45 000 ha

*Schätzung



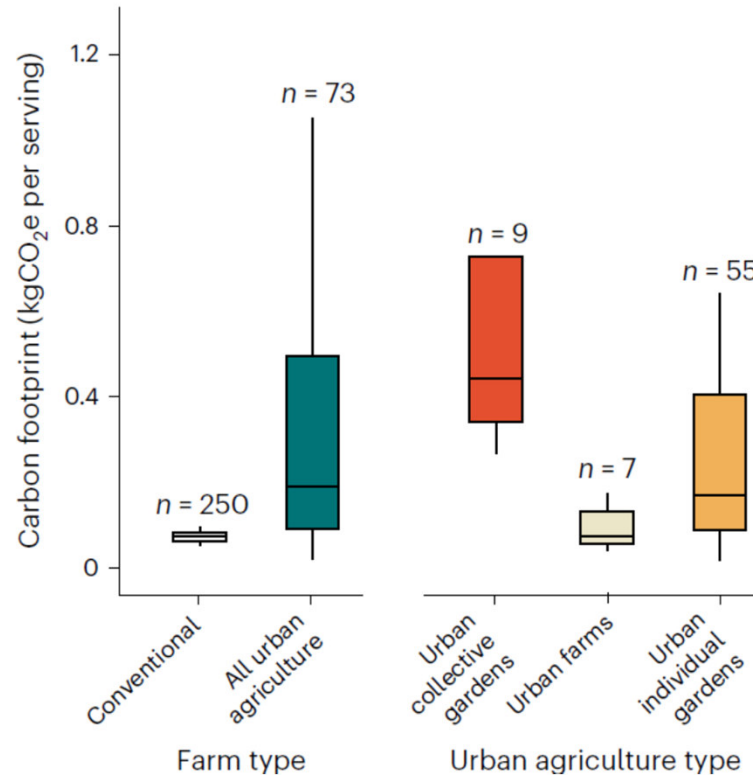
Autarkie in der Gemüseproduktion: Eine Fallstudie für Adelaide, Australien



The proportion (%) of available land within a typical residential block that would be required for self-sufficiency of vegetables (2.5 people per household)



Klimarelevanz des Urban Gardening



Carbon footprint of conventional versus urban agriculture

Results are shown per serving of produce as defined by the United States Department of Agriculture.



Controlled Environment Agriculture



Wasser
Mineral. Nährstoffe
CO₂
Temperatur
Licht

Gemüseproduktion in der ISS

Die Zukunft der Pflanzenproduktion?

Vertical farms, plant factories, sky farming, controlled environment agriculture etc.



Erwartungen

- Höhere Flächenproduktivität
 - Optimierung der Wachstumsfaktoren
 - Optimierung der Lichtnutzung (variable Bestandesdichten)
 - Reduziertes Schaderregeraufkommen
- Kein Pestizideinsatz
- Höhere Wassernutzungseffizienz
- Keine Nährstoffverluste



<https://www.hemmaodlat.se/odla/hydroponiska-system/>

Salat- und Gewürzkräuterproduktion in hydroponischen Systemen mit variablen Bestandesdichten



<https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=airtap&logNo=220668269018&proxyReferer=https:%2F%2Fwww.google.com%2F>



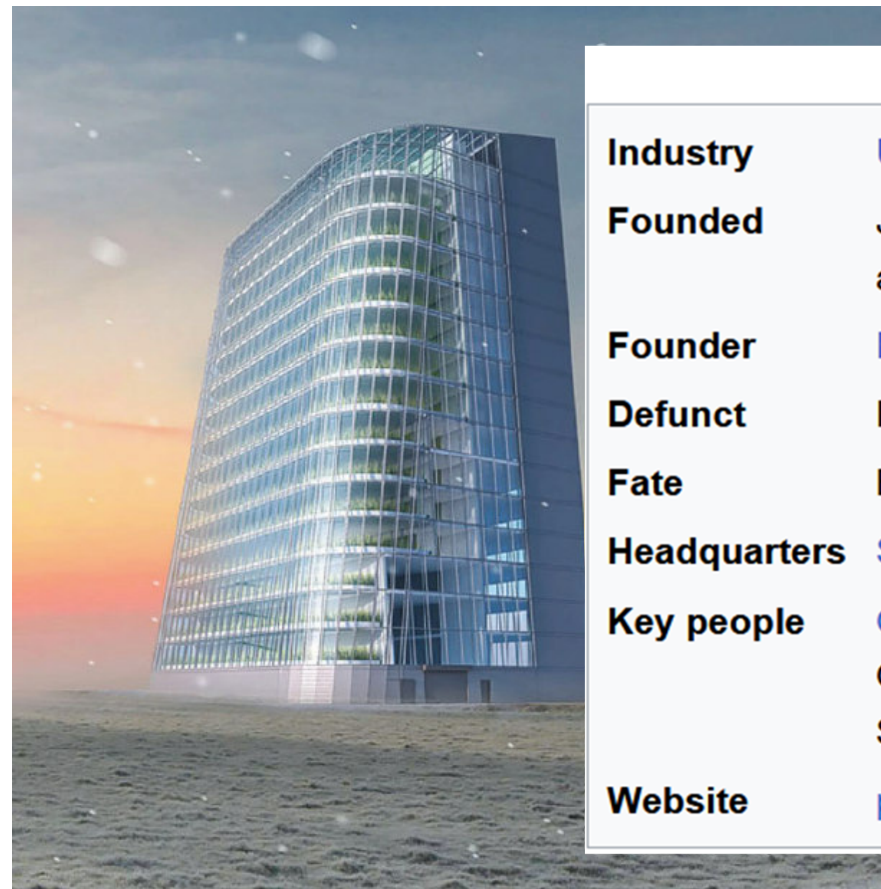
<http://www.ekoweb.nu/?p=9203>

Erwartungen

- Höhere Flächenproduktivität
 - Optimierung der Wachstumsfaktoren
 - Optimierung der Lichtnutzung (variable Bestandesdichten)
 - Reduziertes Schaderregeraufkommen
- Kein Pestizideinsatz
- Höhere Wassernutzungseffizienz
- Keine Nährstoffverluste



“The house should have been in place as its groundbreaking took place back in 2012 but due to administrative and legislation problems, it’s been delayed. The permits are now issued....”
Sepehr Mousavizadeh, 15.10.2015



oben: In Schweden entstand 2014 ein 54 m und 12 Stockwerke hohes vertikales Gewächshaus, das halb Gärtnerei und halb Bürogebäude ist.

Plantagon

Industry	Urban agriculture
Founded	January 29, 2008; 18 years ago in Stockholm , Sweden
Founder	Hans Hassle
Defunct	February 15, 2019
Fate	Bankrupted
Headquarters	Stockholm , Sweden
Key people	Oren Lyons Owe Pettersson Sidney Hill
Website	plantagon.com ↗



Infarm (2013-2023)



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



ZIM-Erfolgsbeispiel



Vertikaler Gemüseanbau

Aufgrund der ansteigenden Weltbevölkerung wächst kontinuierlich der Bedarf an gesunden, frischen Lebensmitteln, die gleichzeitig platzsparend und möglichst klimaneutral produziert werden. Hierfür entwickelte das Unternehmen Infarm vollautomatisierte, modulare sowie cloudverbundene Aufzuchtanlagen (Farming Units), um die wachsende urbane Bevölkerung mit Lebensmitteln versorgen zu können, die nicht nur frisch und gesund sind, sondern durch kurze Transportwege auch einen geringen CO₂-Fußabdruck aufweisen.



Effizienz und Photonenausbeute einiger gebräuchlicher LEDs (100 mA mm⁻², 25 ° C)

LED	Wellenlänge/ Farbtemperatur	Effizienz (W W ⁻¹)	Energiegehalt (MJ mol ⁻¹)	Photonenausbeute (mol MJ ⁻¹)
Blau	450 nm	0.93	0.265	3.5
Grün	530 nm	0.42	0.225	1.9
Rot	660 nm	0.81	0.181	4.5
Dunkelrot	730 nm	0.77	0.163	4.7
Kaltweiß	6500 K	0.76		2.9
Warmweiß	2700 K	0.69		2.6

Photonenausbeuten von LED-Beleuchtungskörpern

Farbe	Photonenausbeute (mol MJ ⁻¹)
Blau/rot	2.55-3.0
Weiß/rot	2,59-2.78
3000K	2.13
5000K	2.43
Natrium-Hochdruck	1,72

Effizienz der Energiekonversion und –nutzung bei ausschließlicher LED-Belichtung in Plant Factories

$$E_{el} \xrightarrow{\varepsilon_c} PPF_{inc} \xrightarrow{\varepsilon_i} PPF_{int} \xrightarrow{\varepsilon_q} C_{fix} \xrightarrow{\varepsilon_{cu}} C_{inc} \xrightarrow{\varepsilon_{cho}} TM$$

$$0.20 \text{ kWh} = 0.72 \text{ MJ} \rightarrow 2 \text{ mol} \rightarrow 1 \text{ mol} \rightarrow 0.08 \text{ mol} \rightarrow 0.052 \text{ mol} \rightarrow 1.56 \text{ g}$$

$$1 \text{ mol} \rightarrow 0.05 \text{ mol} \rightarrow 0.052 \text{ mol} \rightarrow 0.98 \text{ g}$$

E_{el} :	elektr. Energie (kWh)
PPF_{inc} :	inzidenter Photonenfluss (mol)
PPF_{int} :	aufgenommener Photonenfluss (mol)
C_{fix} :	fixierter Kohlenstoff (mol)
C_{inc} :	eingebauter Kohlenstoff (mol)
TM :	gebildete Trockenmasse (g)
ε_c :	Konversion elekt.-PPF (2.75 mol MJ ⁻¹)
ε_i :	rel. Lichtaufnahme (-)
ε_q :	Quantenausbeute (mol C mol PPF ⁻¹)
ε_{cu} :	C-Nutzungseffizienz (-)
ε_{cho} :	C in Trockenmasse (g TM mol ⁻¹ C)
ε_h :	Harvest Index (-)

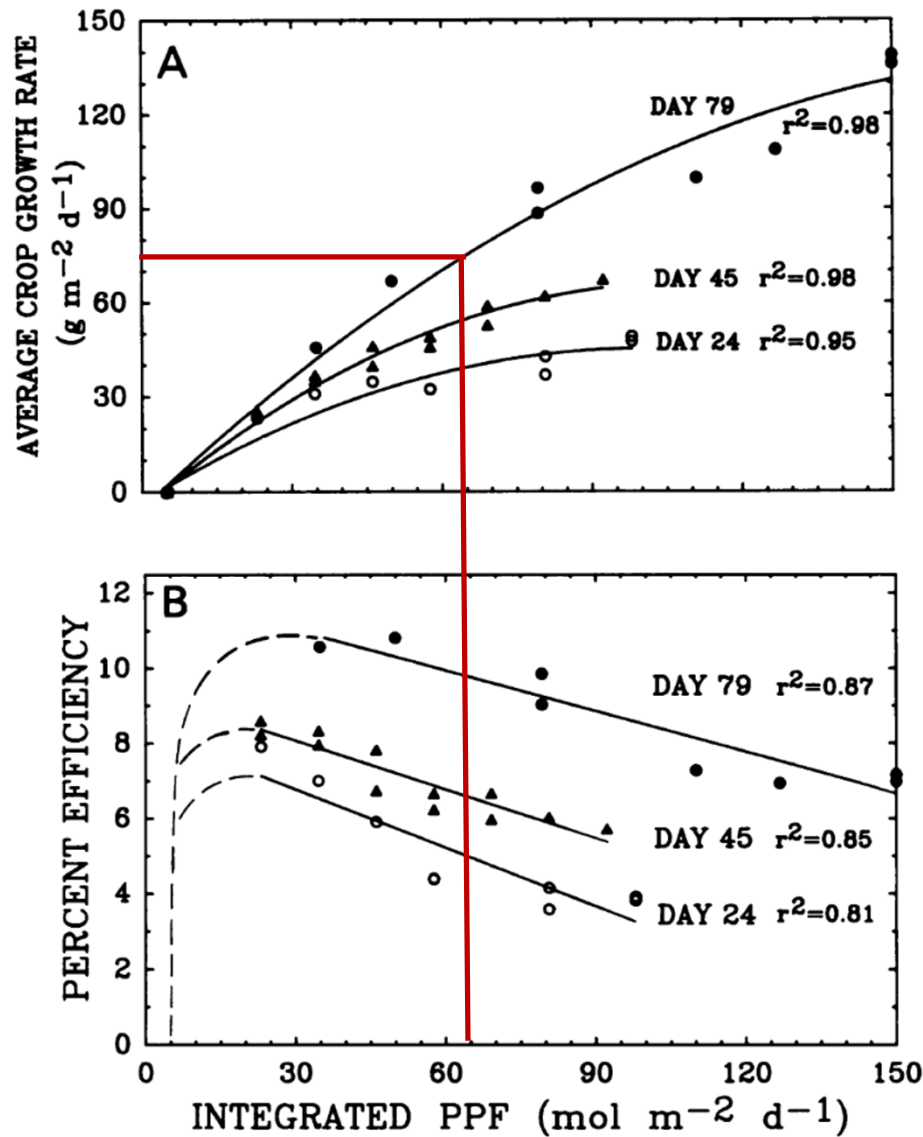
Potentielle LUE:

$$LUE_{pot} = 1.56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 4.3 \frac{\text{mol}}{\text{MJ}} = 6.8 \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

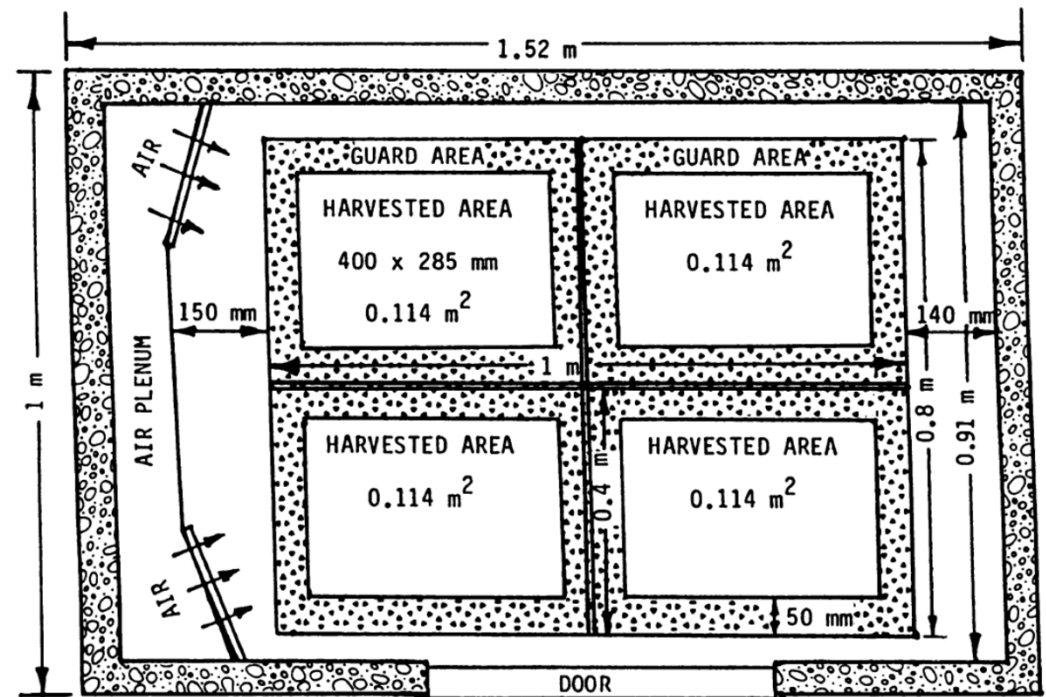
Potentielle Trockenmassebildungsrate ($\varepsilon_i=1$)
bei 1000 $\mu\text{mol PPFd s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, 18 h:

$$GR_{pot} = 0.98 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 64.8 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2} = 63.2 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$





Potentielle Wachstumsraten und Energieeffizienzen bei Weizen in einem Klimakammerversuch



Wachstumsraten „geschlossener“ landwirtschaftlicher Kulturpflanzenbestände in den Niederlanden

Art	Beginn des Bestandes schlusses	Abnahme der Wachstumsrate	Dauer (Tage)	TM-Produktion gesamt (kg ha ⁻¹)	TM-Produktion täglich (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)
Kartoffeln	14.6.	6.9.	84	19 150	228
Zuckerrüben	17.6.	10.9.	85	17 500	206
Erbsen	25.5.	7.7.	43	8 450	196
Sommergerste	7.6.	19.7.	42	7 450	177
Winterweizen	3.5.	12.7.	69	12 300	175
Mais	16.6.	13.9.	88	15 050	171
Hafer	24.5.	16.7.	53	8 950	169
Gras	20.4.	10.6.	51	8 250	162
(Algen)	5.7.	16.8.	42	8 000	191

Potentielle Effizienz der Energiekonversion und –nutzung bei ausschließlicher LED-Belichtung in Plant Factories

$$E_{el} \xrightarrow{\varepsilon_c} PPF_{inc} \xrightarrow{\varepsilon_i} PPF_{int} \xrightarrow{\varepsilon_q} C_{fix} \xrightarrow{\varepsilon_{cu}} C_{inc} \xrightarrow{\varepsilon_{cho}} TM$$

$$0.20 \text{ kWh} = 0.72 \text{ MJ} \rightarrow 2 \text{ mol} \rightarrow 1 \text{ mol} \rightarrow 0.05 \text{ mol} \rightarrow 0.052 \text{ mol} \rightarrow 0.98 \text{ g}$$

E_{el} :	elektr. Energie (kWh)
PPF_{inc} :	inzidenter Photonenfluss (mol)
PPF_{int} :	aufgenommener Photonenfluss (mol)
C_{fix} :	fixierter Kohlenstoff (mol)
C_{inc} :	eingebauter Kohlenstoff (mol)
TM :	gebildete Trockenmasse (g)
ε_c :	Konversion elektr.-PPF (2.75 mol MJ ⁻¹)
ε_i :	rel. Lichtaufnahme (-)
ε_q :	Quantenausbeute (mol C mol PPF ⁻¹)
ε_{cu} :	C-Nutzungseffizienz (-)
ε_{cho} :	C in Trockenmasse (g TM mol ⁻¹ C)
ε_h :	Harvest Index (-)

Getreide, Harvestindex 0.5, 88 % TM:

$$\varepsilon = \frac{0.98 \text{ g} \cdot 0.5}{0.2 \text{ kWh} \cdot 0.88} = 2.78 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \rightarrow 360 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

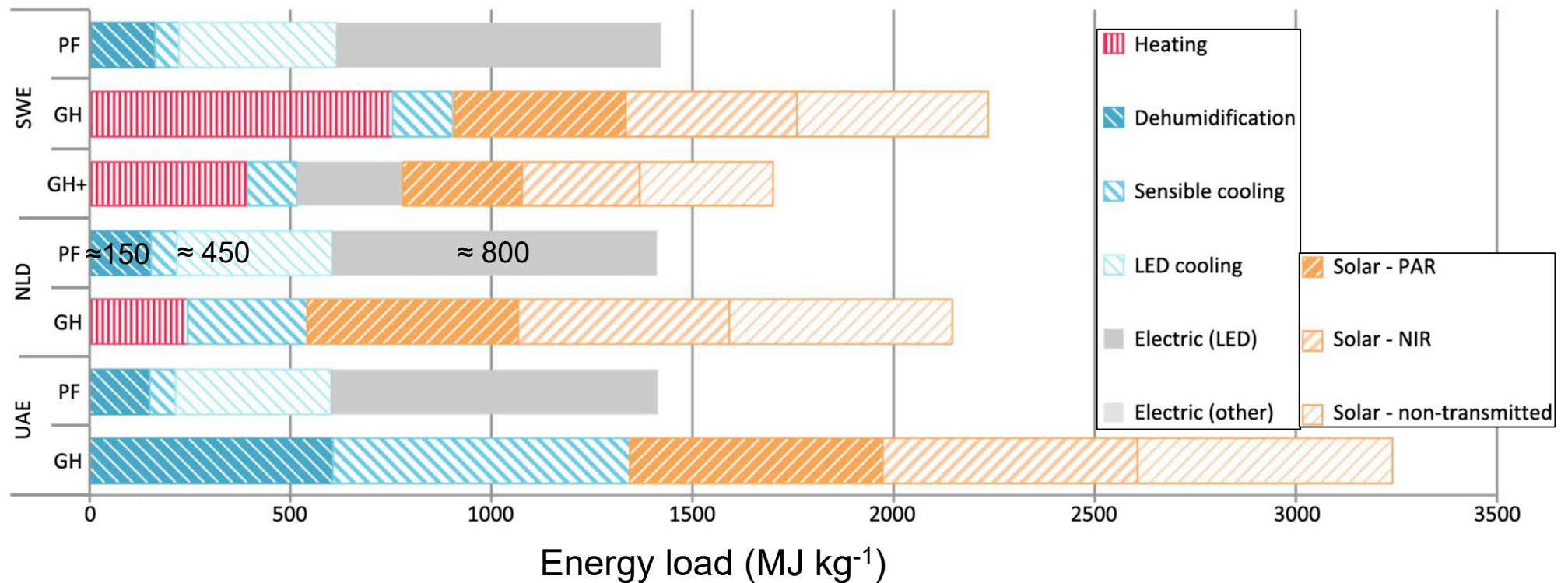


Stromkosten für LED-Belichtung in Plant Factories

Ökonomisch u.U. profitabel für Produkte hohem Preis pro Fischmasse und hohem Wassergehalt
Ökologisch sinnvoll bei Stromüberschuss?

Pflanzenart	ϵ_i	ϵ_q	ϵ_h	TM (g/mol)	Photonen- kosten TM (US\$/kg)*	Wasser- gehalt (%)	Photonen- kosten FM (US\$/kg)*	FM-Preis (US\$/kg)	Photonen- kosten (% TM-Preis)
Potentielle Effizienz	1.0	0.08	1	1.58	6				
Microgreens/Kräuter	0.95	0.08	0.9	1.33	8	95	0.47	35	1
Salat	0.65	0.07	0.9	0.80	13	95	0.76	12	5
Tomaten	0.60	0.05	0.6	0.35	29	95	1.76	8	18
Gemüse allgemein	0.50	0.05	0.5	0.24	42	90	5.05	4	103
Getreide	0.50	0.05	0.5	0.24	42	3	45.91	0.4	10 000

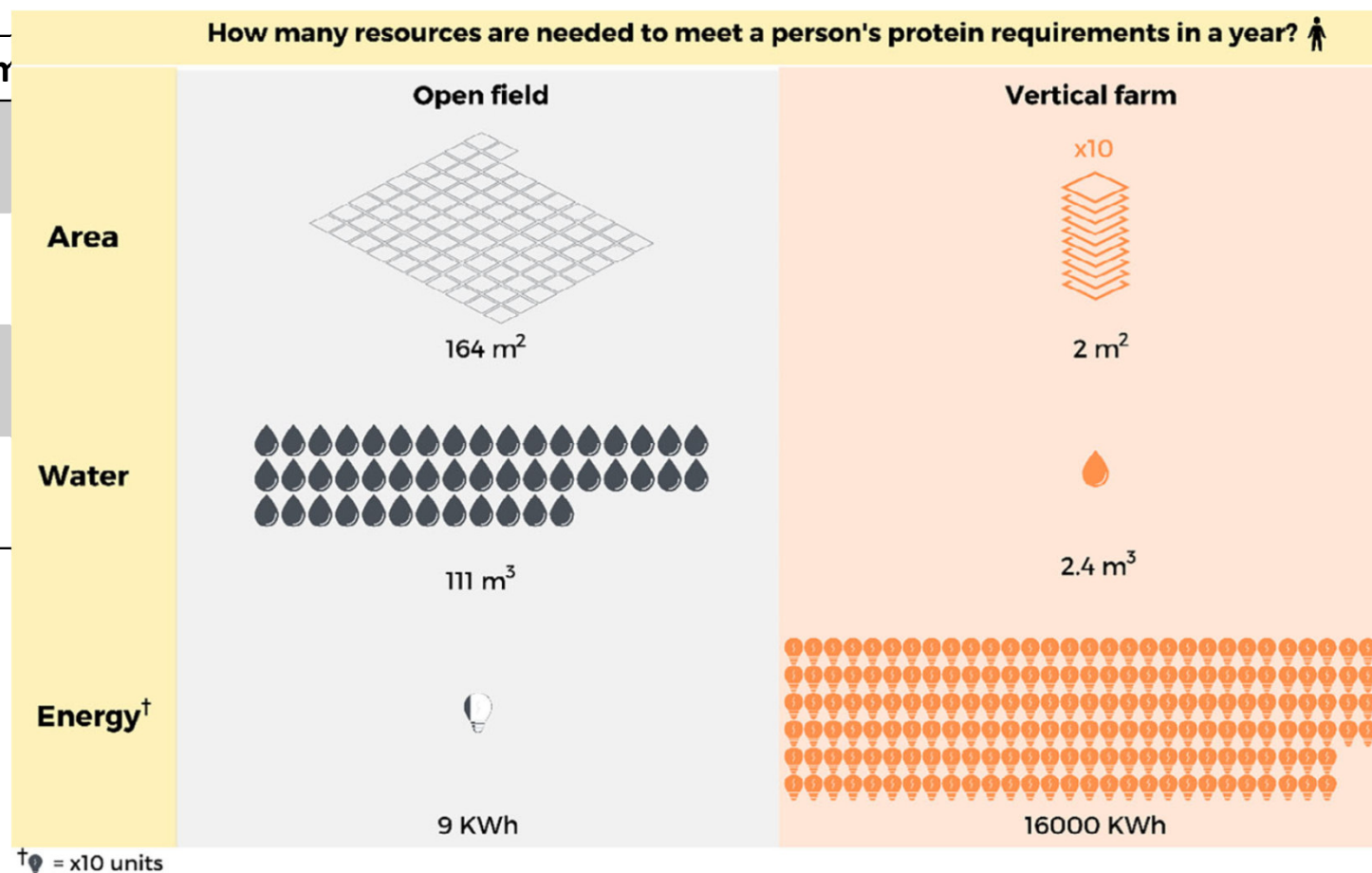
*1 cent pro mol $\equiv$ 10cent pro kWh, ϵ_{cu} 0.65, ϵ_{cho} 30



Errechneter Energiebedarf pro kg Salattrockenmasse von Plant Factories (PF) im Vergleich zu Gewächshäusern (GH) in den Vereinigten Arabischen Emiraten (UAE), den Niederlanden (NLD) und Schweden (SWE)

	Feld	Vertical farm
Kornertrag (g/m ²)	319	3140*
Proteingehalt (%)	40.5	34.5
Proteinertrag (g/m ²)	129	1100
Flächenbedarf (m ²)	164	20

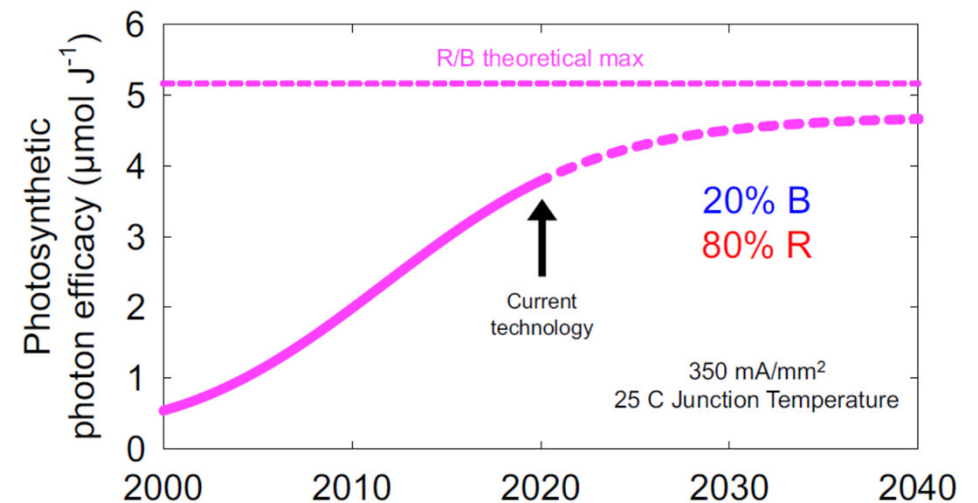
* In 3.7 Zyklen/Jahr



Flächen-, Energie und Wasserbedarf zur Erzeugung des Jahresbedarfs einer Person von **21 kg Sojaprotein** auf dem Feld und in einer Vertical Farm

Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz in Plant Factories

- Effizientere Belichtung
- Leistungsfähigere Pflanzen
 - Züchtung für konstante Umgebungen



Entwicklung des Wirkungsgrades von LEDs

Kusuma et al. 2020



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Der Turmbau zu Babel von
Pieter Bruegel d. Ä. (1563)
Kunsthistorisches Museum,
Wien

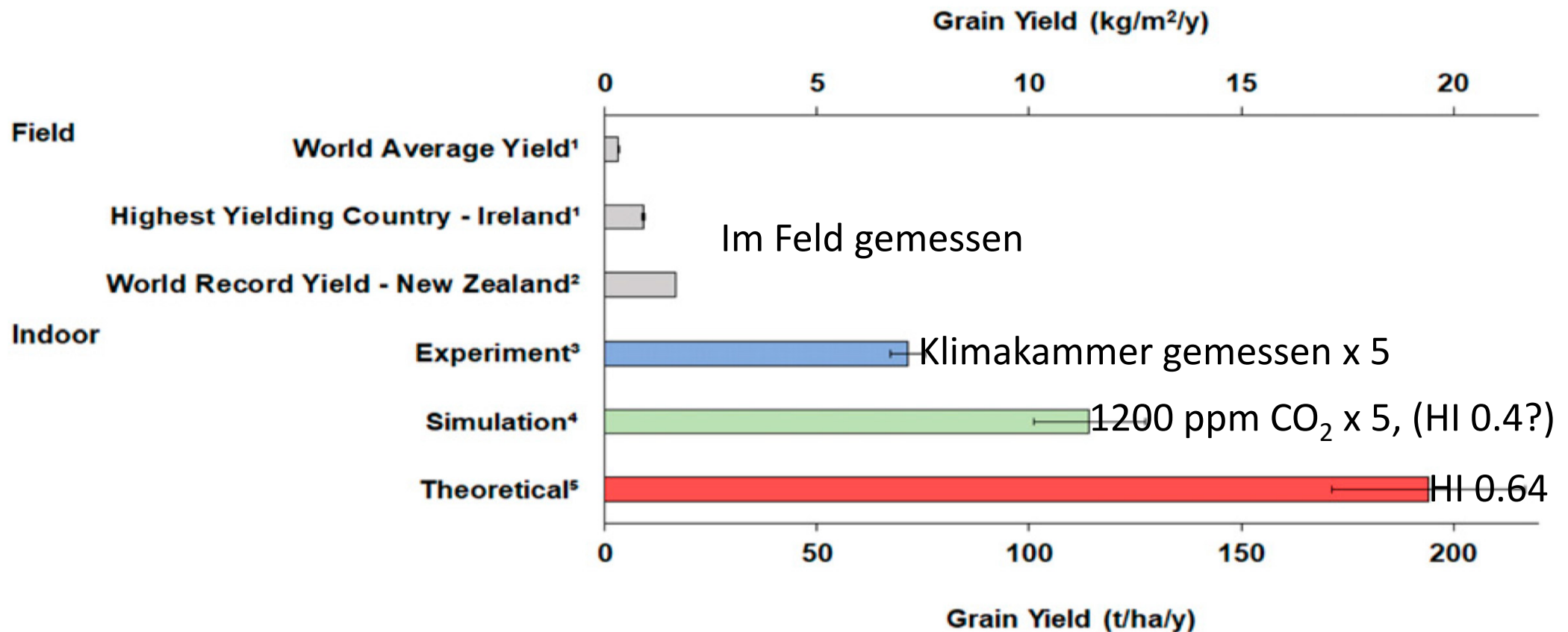
“Theoretische” Potentiale der Controlled Environment Agriculture (CEA) im Vergleich zu konventionellen Feldbeständen

KPIs - Adjusted for a 10 layer- vertical farm system	Field crops	CEA Crops	CEA Algae
Average world annual yield (t/ha of land)	4.5	1,900	1,900
Energy harvest (Gcal/ha/year)	16.3	7,000	6,000
Protein (kg/ha/year)	767	228,000	330,000
Land use (million ha of land)	697	2	2
Water use (L/kg food)	1,785	0.14	33
Energy use (kWh/kg food)	2.3	650	12
Global food miles (trillion tkm)	7.3	~ 0	~ 0
GHG emission (eCO ₂ /kg food)	3.3	~ 0	~ 0
Pesticides/antibiotics (kg/ha/year)	1.6	~ 0	~ 0
N leaching and run-off (kg/ha)	5.4	~ 0	~ 0
P leaching and run-off (kg/ha)	0.1	~ 0	~ 0

% Change			Positive	Negative
0%	to	10%		
10%	to	100%		
100%	to	10000%		
10000%	to	100000%		
		>100000%		



Herleitung des “theoretischen” CEA Potentials



“Theoretische” Potentiale der Controlled Environment Agriculture (CEA) im Vergleich zu konventionellen Feldbeständen

KPIs - Adjusted for a 10 layer-vertical farm system	Field crops	CEA Crops	CEA Algae	CEA Mushrooms	CEA Insects	CEA Fish	CEA Cultured meat
Average world annual yield (t/ha of land)	4.5	1,900	1,900	23,040	32,140	12,410	42
Energy harvest (Gcal/ha/year)	16.3	7,000	6,000	33,000	170,000	17,000	125
Protein (kg/ha/year)	767	228,000	330,000	4,800,000	13,500,000	2,500,000	8,300
Land use (million ha of land)	697	2	2	0.1	0.1	0.3	74
Water use (L/kg food)	1,785	0.14	33	50	0.01	2,500	52
Energy use (kWh/kg food)	2.3	650	12	4	17	42	26
Global food miles (trillion tkm)	7.3	~ 0	~ 0	~ 0	~ 0	~ 0	~ 0
GHG emission (eCO ₂ /kg food)	3.3	~ 0	~ 0	~ 0	8	3	2
Pesticides/antibiotics (kg/ha/year)	1.6	~ 0	~ 0				
N leaching and run-off (kg/ha)	5.4	~ 0	~ 0				
P leaching and run-off (kg/ha)	0.1	~ 0	~ 0				

% Change			Positive	Negative
0%	to	10%		
10%	to	100%		
100%	to	10000%		
10000%	to	100000%		
		>100000%		

Flächenbelegung im In- und Ausland für Ernährungsgüter pflanzlichen und tierischen Ursprungs 2017 (1000 ha)

Landwirtschaftlich genutzte Fläche

- Futterpflanzen	9 552
- Pflanzliche Ernährung	4 497
- Energiepflanzen	2 014
- Industrielle Verwendung	307
- Stillgelegte Flächen, Brache	318

Exporte

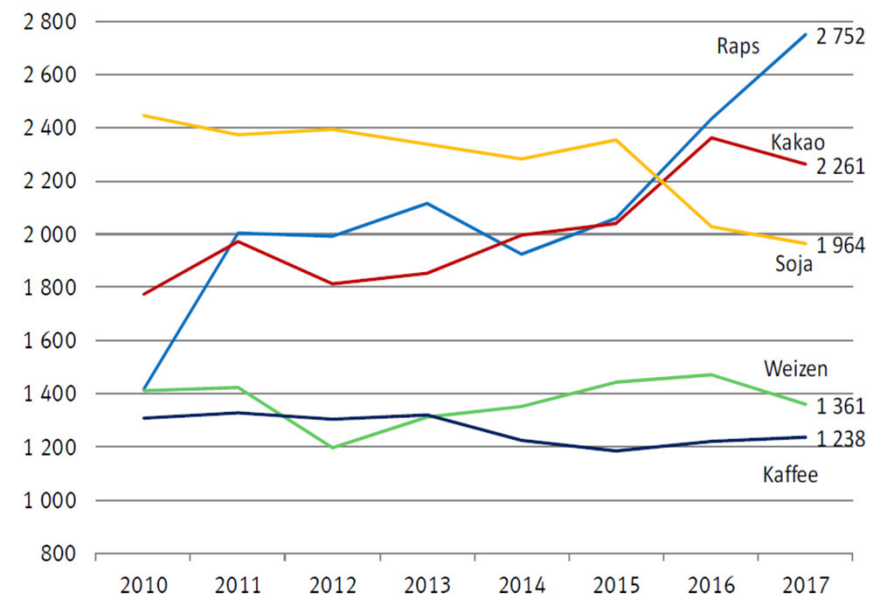
- pflanzlichen Ursprungs	7 039
- tierischen Ursprungs	5 119

Importe

- tierischen Ursprungs	4 870
- pflanzlichen Ursprungs	14 154

Inlandsverbrauch von Ernährungsgütern

- pflanzlichen Ursprungs	7 450
- tierischen Ursprungs	11 632



Energiekonversion und –nutzung bei ausschließlicher LED-Belichtung in Plant Factories (PF)

$$E_{el} \xrightarrow{\varepsilon_c} E_{phot} \xrightarrow{\varepsilon_i} E_{phot,int} \xrightarrow{\varepsilon_{lu}} TM_{tot} \xrightarrow{\varepsilon_h} TM_{harv}$$

$$TM_{harv} = E_{el} \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_h$$

$$\frac{E_{el}}{TM_{harv}} = \frac{1}{\varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_{harv}} = \frac{1}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 3 \cdot 0.5} = 2.66 \frac{MJ}{g} = 741 \frac{kWh}{kg} \quad \text{Konventionell}$$

$$= \frac{1}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 4.4 \cdot 0.5} = 1.82 \frac{MJ}{g} = 505 \frac{kWh}{kg} \quad \text{Weizen, Reis in PF}$$

E_{el} :	elektr. Energie (kWh)
E_{phot} :	Strahlungsenergie (kWh)
ε_c :	Konversion elekt.-PAR (-)
ε_i :	rel. Lichtaufnahme (-)
ε_{lu} :	Lichtnutzungseffizienz (g MJ ⁻¹)
ε_h :	Harvest Index (-)

Ernährung durch Plant Factories?

Energiebedarf **pro Erwachsener** ca. 2000 kcal/Tag $\triangleq$ 500g Kohlenhydrate/Tag

$$500 \times 365 = 182.5 \text{ kg/Jahr}$$

$$182.5 \text{ kg} \times 505 \text{ kWh/kg} = 92\,163 \text{ kWh/Jahr}$$

Zum Vergleich: durchschnittlicher Stromverbrauch ca. 2000 kWh/Kopf/Jahr

Energiekonversion und –nutzung bei ausschließlich künstlicher Belichtung in Plant Factories (PF)

$$E_{el} \xrightarrow{\varepsilon_c} E_{phot} \xrightarrow{\varepsilon_i} E_{phot,int} \xrightarrow{\varepsilon_{lu}} TM_{tot} \xrightarrow{\varepsilon_h} TM_{harv}$$

$$TM_{harv} = E_{el} \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_h$$

$$FM_{harv} = E_{el} \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_h / f_{TM}$$

E_{el} :	elektr. Energie (kWh)
E_{phot} :	Strahlungsenergie (kWh)
ε_c :	Konversion elekt.-PAR (-)
ε_i :	Lichtaufnahmeeffizienz (-)
ε_{lu} :	Lichtnutzungseffizienz (g MJ ⁻¹)
ε_h :	Harvest Index (-)
f_{TM}	Trockenmassegehalt des Produkts

Energiekonversion und –nutzung bei ausschließlicher LED-Belichtung in Plant Factories (PF)

$$E_{el} \xrightarrow{\varepsilon_c} E_{phot} \xrightarrow{\varepsilon_i} E_{phot,int} \xrightarrow{\varepsilon_{lu}} TM_{tot} \xrightarrow{\varepsilon_h} TM_{harv}$$

$$TM_{harv} = E_{el} \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_h$$

$$\frac{E_{el}}{TM_{harv}} = \frac{1}{\varepsilon_c \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{lu} \cdot \varepsilon_{harv}} = \frac{1}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 3 \cdot 0.5} = 2.66 \frac{MJ}{g} = 741 \frac{kWh}{kg} \text{ konventionell}$$

$$= \frac{1}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 4.4 \cdot 0.5} = 1.82 \frac{MJ}{g} = 505 \frac{kWh}{kg} \text{ Weizen, Reis in PF}$$

$$= \frac{1}{0.5 \cdot 0.95 \cdot 7 \cdot 0.9} = 0.33 \frac{MJ}{g} = 93 \frac{kWh}{kg} \text{ potentiell}$$

$$= \frac{1}{0.5 \cdot 0.65 \cdot 6.2 \cdot 0.9} = 0.55 \frac{MJ}{g} = 152 \frac{kWh}{kg} \text{ Salat in PF}$$

E_{el} :	elektr. Energie (kWh)
E_{phot} :	Strahlungsenergie (kWh)
ε_c :	Konversion elekt.-PAR (-)
ε_i :	rel. Lichtaufnahme (-)
ε_{lu} :	Lichtnutzungseffizienz (g MJ ⁻¹)
ε_h :	Harvest Index (-)

Stromkosten für LED-Belichtung in Plant Factories

Ökonomisch u.U. profitabel für Produkte hohem Preis pro Fischmasse und hohem Wassergehalt
Ökologisch sinnvoll bei Stromüberschuss?

Crop type	ϵ_c	ϵ_i	E_{lu} (g MJ ⁻¹)	ϵ_h	Photon cost dry mass (€/kg)*	Water content (%)	Photon cost fresh mass (€/kg)*	Fresh produce price (€/kg)	Photon cost (% of fresh market price)
Potential efficiency	0.5	0.95	7.0	0.9	9.30				
Leafy microgreens	0.5	0.95	7.0	0.9	9.30	95	0.47	10	4.7
Lettuce	0.5	0.65	6.1	0.9	15.20	95	0.76	2	38
Tomatoes	0.5	0.60	4.4	0.6	35.10	95	1.76	1	176
General vegetables	0.5	0.50	4.4	0.5	50.50	90	5.05	0.5	1 010
Rice or wheat	0.5	0.50	4.4	0.5	50.50	10	45.91	0.2	22 955

*10 cent pro kWh