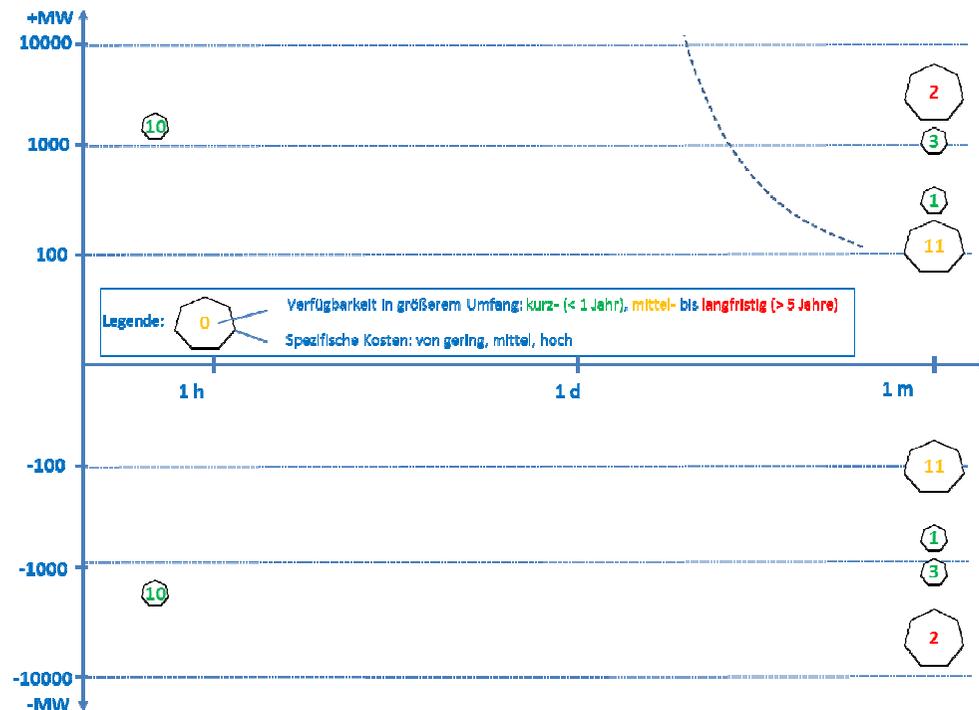


Erschließung von Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung

Flexibilitätsoptionen haben korrelierte Dimensionen was ihre absoluten Beitrag (MW) und ihre zeitliche Einsatzdauer (Stunden bis Monate) betrifft. Werden mehrere Einzelmaßnahmen nacheinander geschaltet, kann die Einsatzdauer zu Lasten des absoluten Beitrags erhöht werden, dies wir nachfolgend aber nicht betrachtet. Daneben sind die Kostendimension und die zeitliche Verfügbarkeit wichtige Eigenschaften.

- Der **absolute Beitrag** der Option wird auf der Ordinate logarithmisch in MW dargestellt und zeigt damit ob das Potenzial im deutschen Markt
- Die **Einsatzdauer** der Option ohne Verkettung wird auf der Abszisse ebenfalls logarithmisch in Stunden, Tage und Monate dargestellt
- Die **volkswirtschaftlichen Kosten** der Option werden durch drei Größen der Polygone in gering, mittel und hoch unterschieden,
- Die **Verfügbarkeit** der Option wird farblich dargestellt und nach kurz-, mittel- und langfristig unterschieden, die Verfügbarkeit stellt auf die volkswirtschaftliche Anwendbarkeit in die Dimensionen des erwarteten absoluten Beitrags ab, Referenz für die Erlöse der Flexibilität ist immer der Strommarkt (Beitrag zum Ausgleich von Gesamtstromangebot und Nachfrage) oder die tatsächliche Entlastung von Kosten z.B. für den Netzausbau, alternative Einnahmen durch regulatorische Kostenentlastung (z.B. Umlagensparnis bei Eigenverbrauchsmodellen) bleiben außen vor, wenn dem kaum eine volkswirtschaftliche Kostenentlastung gegenübersteht



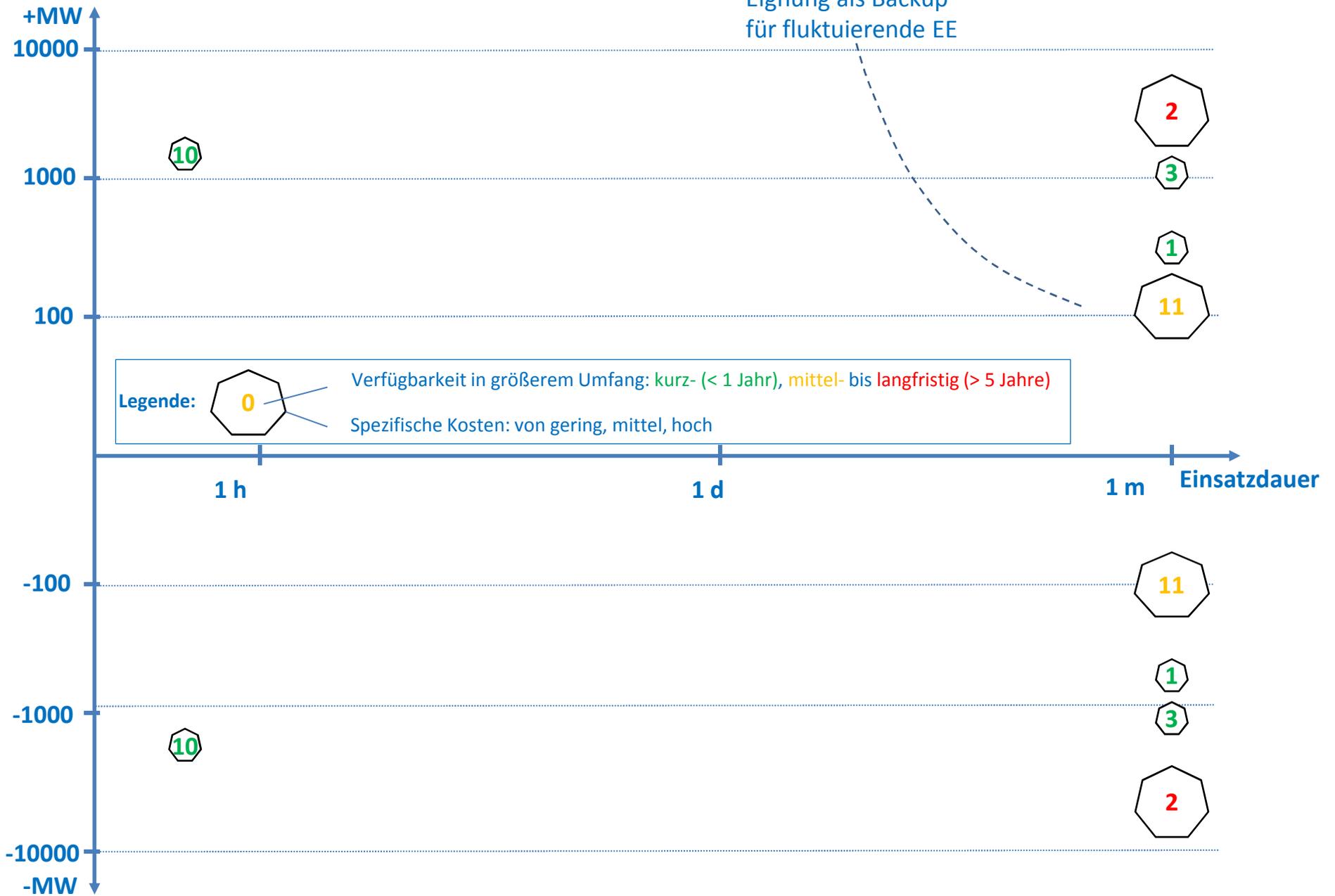
Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung

1. **Stromnetz optimieren** (kostengünstig, begrenztes Potenzial ggü. 2., schnell realisierbar, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
2. **Netzneubau** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
3. **Netzbewirtschaftung im EU-Verbund** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
4. **Retrofit Kraftwerke** (begrenztes Potenzial, +/- Flexibilität)
5. **Neubau hochflexible Kraftwerke** (unbegrenzttes Potenzial, als Backup nur + Flexibilität, teuer ggü. 4)
6. **Netzersatzanlagen einbinden** (begrenztes Potenzial, nur + Flexibilität, da kein Betrieb)
7. **Kapazitätssicherung EU-Verbund** (billig aus Bestand, begrenztes Potenzial durch Netzengpässe und zeitgleiche Residuallasten)
8. **Strommarktgeführte KWK** (begrenztes Potenzial, geringere + Flexibilität ggü. wärmegeführt und kurze Einsatzdauer wegen begrenztem Wärmebedarf, größere und dauerhafte - Flexibilität durch Heißwassererzeuger)
9. **Strommarktgeführte Biomasse** (teuer, da geringere Auslastung, eigentlich – Flexibilität, außer bei verdoppelter Anlagenleistung)
10. **Regelleistung aus flexiblen Quellen** (kurzzeitige Nutzung, preiswert)
11. **Kraftwerksunabhängige Netzdienstleistungen** (technische Aufrüstung (RONT, FACTs etc. schnell einsetzbar, wirkt wie 1.)
12. **Einspeisemanagement Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, nur - Flexibilität)
13. **Reduktion Gleichzeitigkeit Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, + Flexibilität durch höheren Kapazitätsbeitrag fluktuierender EE-Erzeugung, sukzessive Errichtung ehe große Leistungsbeiträge erreicht sind)
14. **Strommarktgeführte Fahrweise EEG-Anlagen** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale ggü. durchfahren, nur - Flexibilität)
15. **Gasproduktion aus Biomasse** (nur in Verbindung mit 5. [Gas-KW oder zusätzlichen teureren BHWK, letztere schneller errichtbar])
16. **Demand response Industrie** (ggf. billig zu erschließen, nur + Flexibilität, wg. Produktionsverzicht eher nur kurze Einsatzdauern)
17. **Demand response Gewerbe** (ggf. billig, nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16, ggf. langsamer erschließbar als 16.)
18. **Demand response Haushalte** (teurer als 16., 17., nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16 und kürzere als 17.)
19. **Demand response Verkehr** (Bahnfahrpläne nach Stromangebot?, teuer wegen teurer Batterie, + Flexibilität, da Rückspeisung Abnutzung erhöht, Einsatzdauer wie 24.)
20. **Demand response im EU-Verbund** (Kosten sollten 16., 17. entsprechen, nur + Flexibilität, nutzbar nur i.V.m. 2. und 3., schnell realisierbar wenn aus Bestand)
21. **Pumpspeicher** (recht teuer, langwierige Errichtung, Speicher im Ausland mit begrenzter Leistung und Einsatzdauern wg. nationalen Bedarf, Ausbau der Kuppelkapazitäten verteuert die Maßnahme)
22. **Power to gas** (nur in Verbindung mit 5. (Gas-KW oder teureren BHWK), teuer durch Wirkungsgradverluste und unkontinuierlichen Betrieb zur Vermeidung von Kondensationsstromnutzung, daher auch spät)
23. **Power to heat** (billig bei Errichtung und durch Ersatz foss. Brennstoffe, zeitlich begrenzt durch Wärmenachfrage, nur – Flexibilität)
24. **Andere Speicher** (teurer als 21., technisch aber auch wirtschaftlich für kurze Einsatzdauern konzipiert)

Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung (Netzflexibilitäten)

1. **Stromnetz optimieren** (kostengünstig, begrenztes Potenzial ggü. 2., schnell realisierbar, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
2. **Netzneubau** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
3. **Netzbewirtschaftung im EU-Verbund** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
10. **Regelleistung aus flexiblen Quellen** (kurzzeitige Nutzung, preiswert)
11. **Kraftwerksunabhängige Netzdienstleistungen** (technische Aufrüstung (RONT, FACTs etc. schnell einsetzbar, wirkt wie 1.)

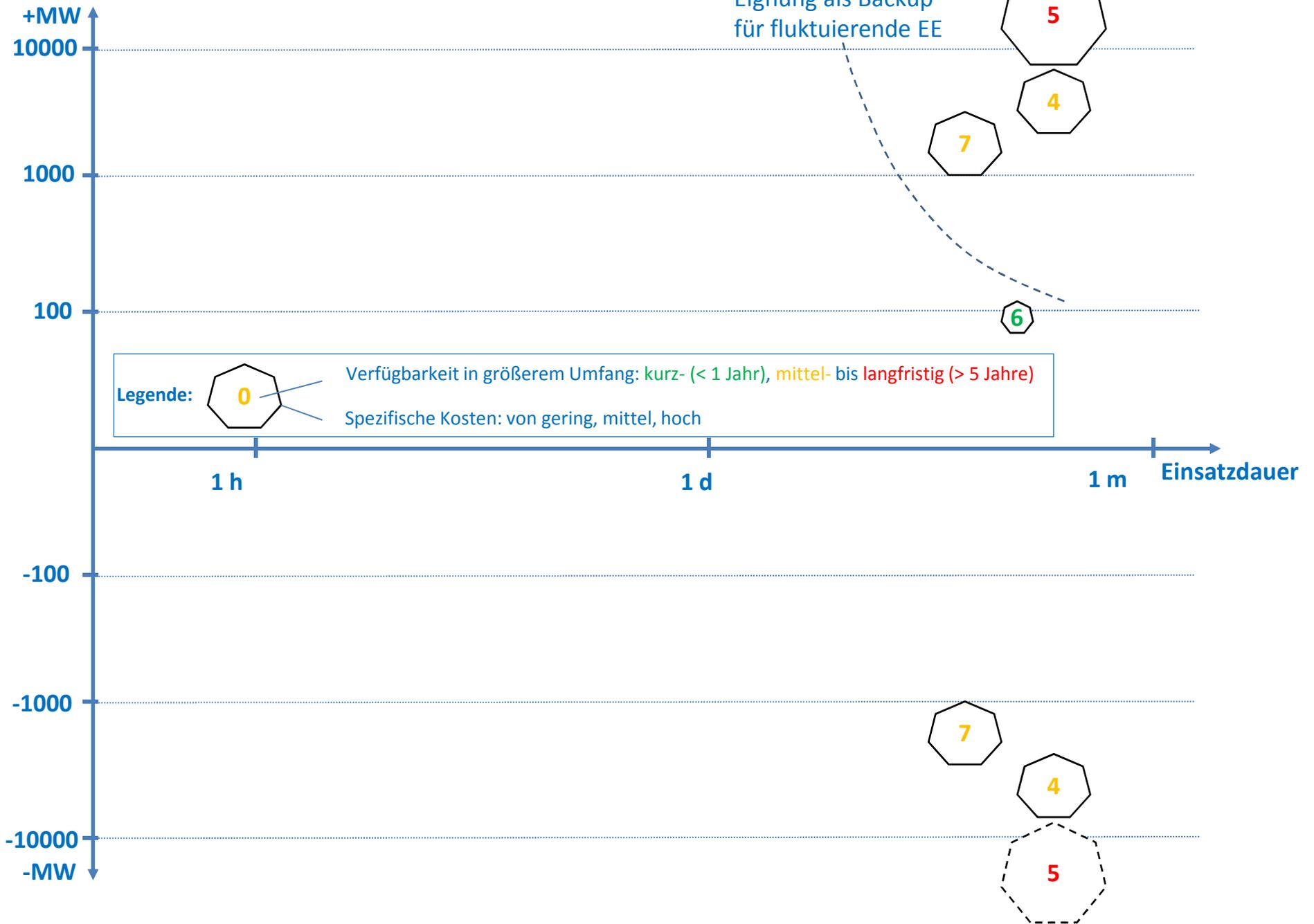
erwartbare Leistungsbeiträge aus Netzflexibilitäten



Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung (Kraftwerksflexibilitäten)

4. **Retrofit Kraftwerke** (begrenzttes Potenzial, +/- Flexibilität)
5. **Neubau hochflexible Kraftwerke** (unbegrenzttes Potenzial, als Backup nur + Flexibilität, teuer ggü. 4)
6. **Netzersatzanlagen einbinden** (begrenzttes Potenzial, nur + Flexibilität, da kein Betrieb)
7. **Kapazitätssicherung EU-Verbund** (billig aus Bestand, begrenzttes Potenzial durch Netzengpässe und zeitgleiche Residuallasten)

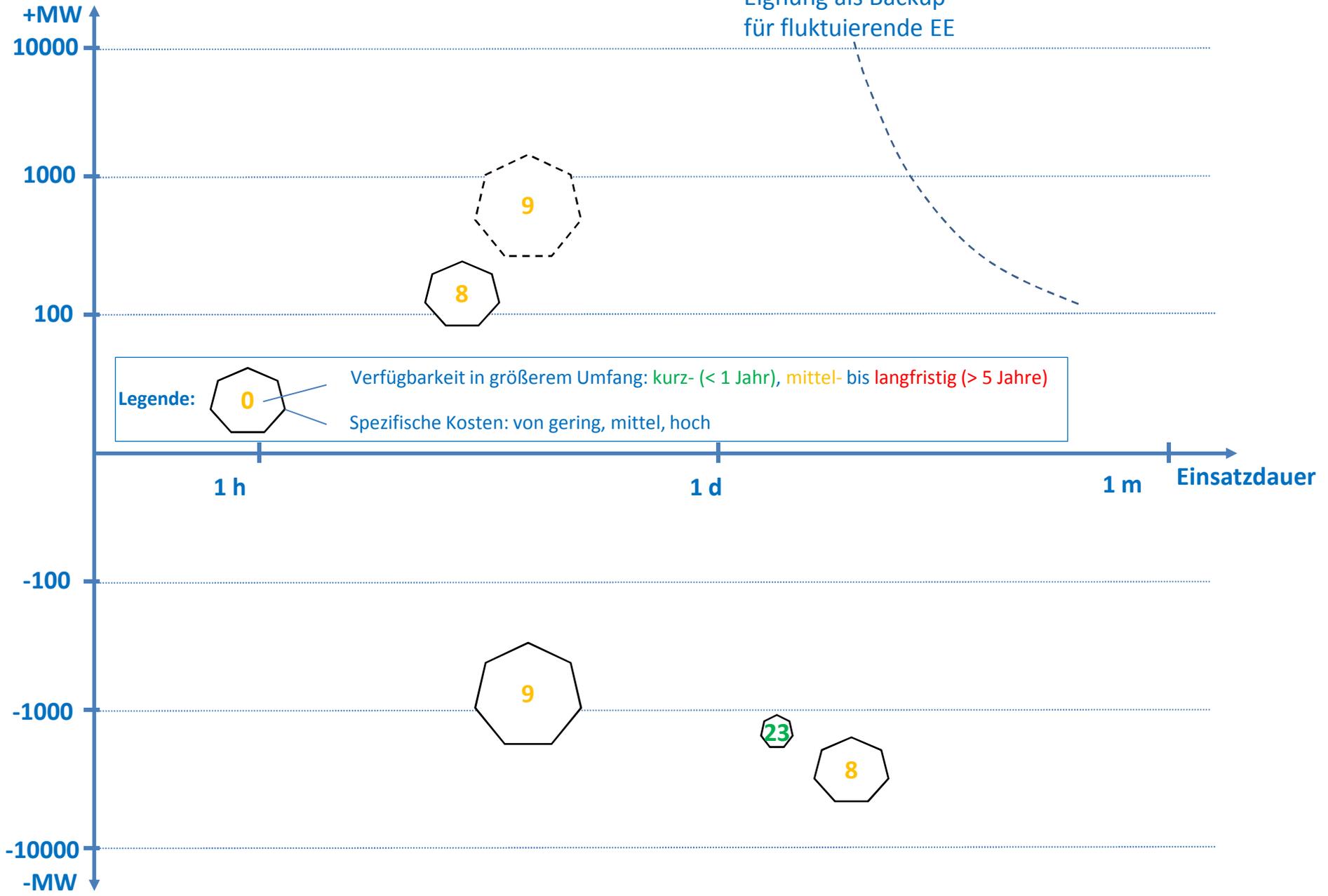
erwartbare Leistungsbeiträge aus Kraftwerksflexibilitäten

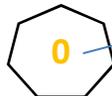


Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung (KWK-Flexibilität)

8. **Strommarktgeführte KWK** (begrenzt. Potenzial, geringere + Flexibilität ggü. wärmegeführt und kurze Einsatzdauer wegen begrenztem Wärmebedarf, größere und dauerhafte - Flexibilität durch Heißwassererzeuger)
9. **Strommarktgeführte Biomasse** (teuer, da geringere Auslastung, eigentlich – Flexibilität, außer bei verdoppelter Anlagenleistung)
23. **Power to heat** (billig bei Errichtung und durch Ersatz foss. Brennstoffe, zeitlich begrenzt durch Wärmenachfrage, nur – Flexibilität)

erwartbare Leistungsbeiträge aus KWK-Flexibilität



Legende:  Verfügbarkeit in größerem Umfang: kurz- (< 1 Jahr), mittel- bis langfristig (> 5 Jahre)
Spezifische Kosten: von gering, mittel, hoch

Eignung als Backup für fluktuierende EE

Flexibilitätsoptionen und deren Einschätzung (EE-Flexibilität)

- 12. **Einspeisemanagement Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, nur - Flexibilität)
- 13. **Reduktion Gleichzeitigkeit Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, + Flexibilität durch höheren Kapazitätsbeitrag fluktuierender EE-Erzeugung, sukzessive Errichtung ehe große Leistungsbeiträge erreicht sind)
- 14. **Strommarktgeführte Fahrweise EEG-Anlagen** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale ggü. durchfahren, nur - Flexibilität)
- 15. **Gasproduktion aus Biomasse** (nur in Verbindung mit 5. [Gas-KW oder zusätzlichen teureren BHKW, letztere schneller errichtbar])
- 22. **Power to gas** (nur in Verbindung mit 5. (Gas-KW oder teureren BHKW), teuer durch Wirkungsgradverluste und unkontinuierlichen Betrieb zur Vermeidung von Kondensationsstromnutzung, daher auch spät)

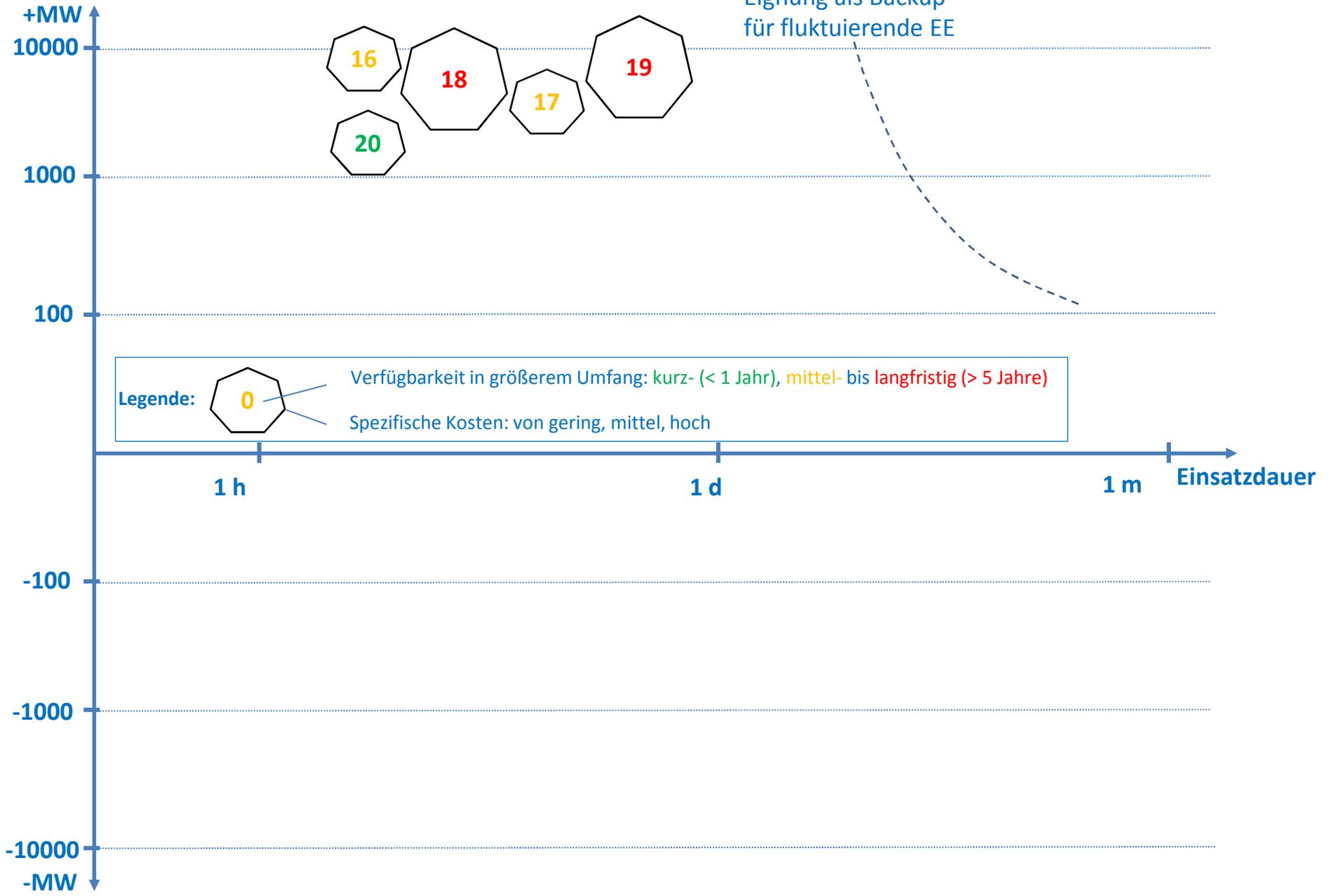
erwartbare Leistungsbeiträge aus EE-Flexibilität



Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung (Demand Response-Flexibilität)

16. **Demand response Industrie** (ggf. billig zu erschließen, nur + Flexibilität, wg. Produktionsverzicht eher nur kurze Einsatzdauern)
17. **Demand response Gewerbe** (ggf. billig, nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16, ggf. langsamer erschließbar als 16.)
18. **Demand response Haushalte** (teurer als 16., 17., nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16 und kürzere als 17.)
19. **Demand response Verkehr** (Bahnfahrpläne nach Stromangebot?, teuer wegen teurer Autobatterie, + Flexibilität, da Rückspeisung Abnutzung erhöht, Einsatzdauer wie 24.)
20. **Demand response im EU-Verbund** (Kosten sollten 16., 17. entsprechen, nur + Flexibilität, nutzbar nur i.V.m. 2. und 3., schnell realisierbar wenn aus Bestand)

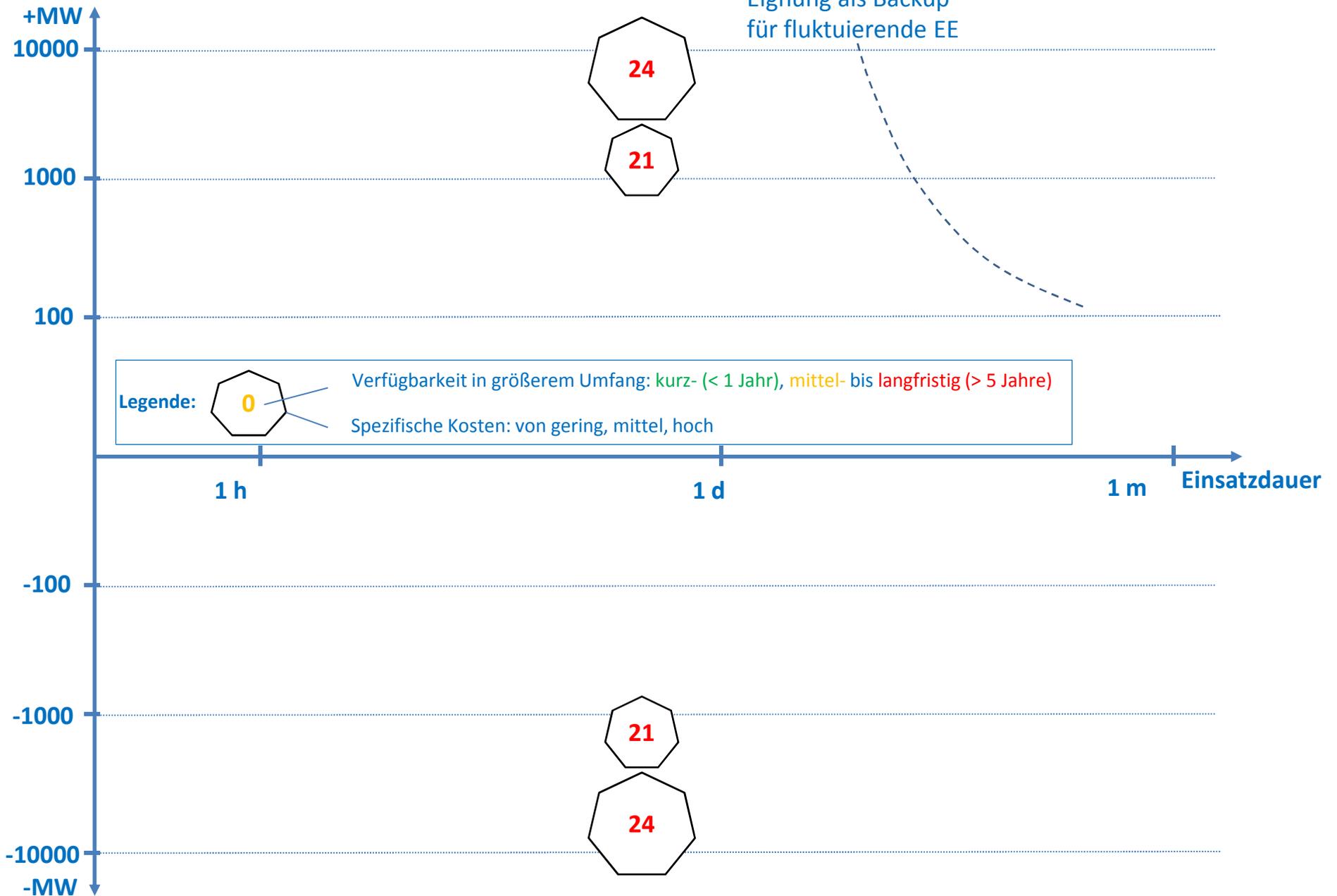
erwartbare Leistungsbeiträge aus Demand Response-Flexibilität



Flexibilitätsoptionen und deren Einordnung (Speicherflexibilität)

21. **Pumpspeicher D, Alpen und Skandinavien** (recht teuer (PSW oder Netze), langwieriger Errichtung, Skandinav. Speicher mit begrenzter Leistung und Einsatzdauer durch inländischen Bedarf)
24. **Andere Speicher** (teurer als 21., technisch aber auch wirtschaftlich für kurze Einsatzdauern konzipiert)

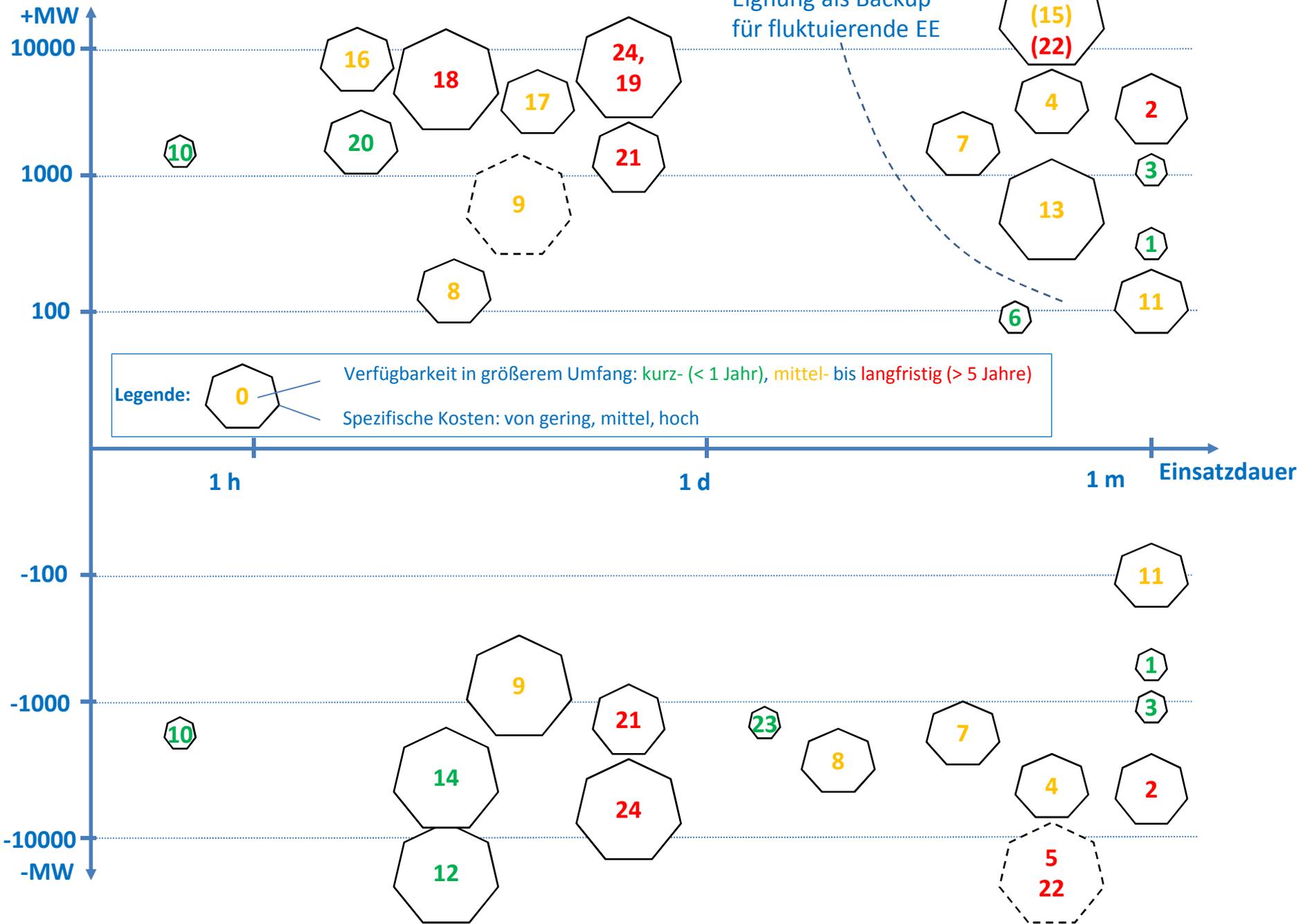
erwartbare Leistungsbeiträge aus Speicherflexibilität



Flexibilitätsoptionen und deren Einschätzung

1. **Stromnetz optimieren** (kostengünstig, begrenztes Potenzial ggü. 2., schnell realisierbar, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
2. **Netzneubau** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
3. **Netzbewirtschaftung im EU-Verbund** (großes Potenzial, langsam, ermöglicht andere +/- Flexibilitäten)
4. **Retrofit Kraftwerke** (begrenztes Potenzial, +/- Flexibilität)
5. **Neubau hochflexible Kraftwerke** (unbegrenzttes Potenzial, als Backup nur + Flexibilität, teuer ggü. 4)
6. **Netzersatzanlagen einbinden** (begrenztes Potenzial, nur + Flexibilität, da kein Betrieb)
7. **Kapazitätssicherung EU-Verbund** (billig aus Bestand, begrenztes Potenzial durch Netzengpässe und zeitgleiche Residuallasten)
8. **Strommarktgeführte KWK** (begrenztes Potenzial, geringere + Flexibilität ggü. wärmegeführt und kurze Einsatzdauer wegen begrenztem Wärmebedarf, größere und dauerhafte - Flexibilität durch Heißwassererzeuger)
9. **Strommarktgeführte Biomasse** (teuer, da geringere Auslastung, eigentlich – Flexibilität, außer bei verdoppelter Anlagenleistung)
10. **Regelleistung aus flexiblen Quellen** (kurzzeitige Nutzung, preiswert)
11. **Kraftwerksunabhängige Netzdienstleistungen** (technische Aufrüstung (RONT, FACTs etc. schnell einsetzbar, wirkt wie 1.)
12. **Einspeisemanagement Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, nur - Flexibilität)
13. **Reduktion Gleichzeitigkeit Wind + PV** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale, + Flexibilität durch höheren Kapazitätsbeitrag fluktuierender EE-Erzeugung, sukzessive Errichtung ehe große Leistungsbeiträge erreicht sind)
14. **Strommarktgeführte Fahrweise EEG-Anlagen** (Verzicht auf kostenintensive Erzeugungspotenziale ggü. durchfahren, nur - Flexibilität)
15. **Gasproduktion aus Biomasse** (nur in Verbindung mit 5. [Gas-KW oder zusätzlichen teureren BHWK, letztere schneller errichtbar])
16. **Demand response Industrie** (ggf. billig zu erschließen, nur + Flexibilität, wg. Produktionsverzicht eher nur kurze Einsatzdauern)
17. **Demand response Gewerbe** (ggf. billig, nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16, ggf. langsamer erschließbar als 16.)
18. **Demand response Haushalte** (teurer als 16., 17., nur + Flexibilität, ggf. längere Einsatzdauern als 16 und kürzere als 17.)
19. **Demand response Verkehr** (Bahnfahrpläne nach Stromangebot?, teuer wegen teurer Autobatterie, + Flexibilität, da Rückspeisung Abnutzung erhöht, Einsatzdauer wie 24.)
20. **Demand response im EU-Verbund** (Kosten sollten 16., 17. entsprechen, nur + Flexibilität, nutzbar nur i.V.m. 2. und 3., schnell realisierbar wenn aus Bestand)
21. **Pumpspeicher** (recht teuer, langwierige Errichtung, Speicher im Ausland mit begrenzter Leistung und Einsatzdauern wg. nationalen Bedarf, Ausbau der Kuppelkapazitäten verteuert die Maßnahme)
22. **Power to gas** (nur in Verbindung mit 5. (Gas-KW oder teureren BHWK), teuer durch Wirkungsgradverluste und unkontinuierlichen Betrieb zur Vermeidung von Kondensationsstromnutzung, daher auch spät)
23. **Power to heat** (billig bei Errichtung und durch Ersatz foss. Brennstoffe, zeitlich begrenzt durch Wärmenachfrage, nur – Flexibilität)
24. **Andere Speicher** (teurer als 21., technisch aber auch wirtschaftlich für kurze Einsatzdauern konzipiert)

erwartbare Leistungsbeiträge (+/- Flexibilität)



Fazit

- Die **Bandbreite** von Flexibilitätsoptionen ist sehr hoch und vor allem mehrdimensional
- Generalisierende Feststellungen zu Flexibilitäten sind problematisch
- Die Bandbreite der Spezifika der Optionen spricht (z.B. **Einsatzdauer**, aber auch An- und Abfahrzeiten, Mindestintervalle zwischen Abrufereignissen) dafür, dass der Wert der jeweiligen Option am besten durch den Markt ermittelt wird
- Es gibt eine Reihe von Flexibilitätsoptionen, die aktuell noch nicht im Markt sind, bei entsprechenden Preissignalen und ggf. der Beseitigung politischer Hemmnisse rasch und zu geringen **volkswirtschaftlichen Kosten** für das Gesamtsystem erschlossen werden können.
- Die Spreizung der Flexibilitätsoptionen in Bezug auf **Verfügbarkeiten** lässt darauf schließen, dass es auch in Zukunft möglich sein wird weitere Flexibilitätsoptionen sukzessive über den Markt (EOM bzw. dezentraler Leistungsmarkt) zu erschließen, ohne dass es eines gesonderten Mechanismus zur Honorierung von Flexibilitäten bedarf

